



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

ZASTŘEŠENÍ SPORTOVNÍHO STADIONU

ROOF STRUCTURE SPORTS STADIUM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

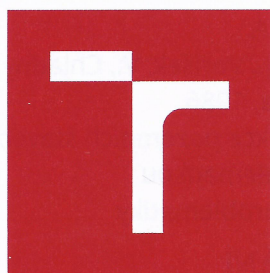
Bc. Lucie Neničková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. MIROSLAV BAJER, CSc.

BRNO 2018



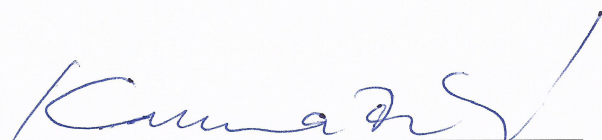
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

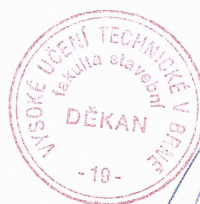
Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Lucie Neničková
Název	Zastřešení sportovního stadionu
Vedoucí práce	doc. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017


prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.
Vedoucí ústavu




prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Ferjenčík, P., Schun, J., Melcher, J., Voříšek, V., Chladný, E.: Navrhovanie ocelových konštrukcií
1. časť + 2. časť, SNTL Alfa, Praha, 1986

Marek, P. a kol.: Kovové konstrukce pozemních staveb, SNTL Alfa, Bratistava, 1985

Skripta zabývající se danou problematikou

Normativní dokumenty z dané problematiky

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Vypracujte návrh nosné ocelové konstrukce zastřešení sportovního stadionu podle předané dispozice. Objekt se nachází v lokalitě Kopřivnice.

Předepsané přílohy

Technická zpráva se zhodnocením variant řešení.

Statický výpočet hlavních nosných částí, návrh a výpočet směrných detailů.

Výkresová dokumentace v rozsahu stanoveném vedoucím diplomové práce.


Výkaz materiálu.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



doc. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je vypracování návrhu a statického posouzení nosné ocelové konstrukce zastřešení sportovního stadionu dle navržené dispozice. Klimatické zatížení (sníh a vítr) je stanoveno pro lokalitu Kopřivnice. Součástí práce je technická zpráva, statický posudek hlavních nosných částí a vybraných spojů, výkaz materiálu, technická zpráva srovnání dvou variant řešení a výkresová dokumentace. Výpočtový model pro stanovení vnitřních sil je realizován v programu Dlubal RSTAB 8.06. Posudky jsou vypracovány ručně dle platných evropských norem.

KLÍČOVÁ SLOVA

Stadion, sport, ocelová konstrukce, zastřešení, vazníky, klimatické zatížení, výpočtový model.

ABSTRACT

Aim of the final thesis is to create proposal and static assessment of supporting steel roof structure of sports stadium according to the proposed disposition. Climatic load (snow and wind) is determined for location Kopřivnice. The thesis consists of technical report, static report of main supporting parts and chosen connections, bill of material quantities, technical report with comparison of 2 options solution and drawing documentation. Computational model for evaluation of internal forces is realized in Dlubal RSTAB 8.06 software. Static report is created manually according to valid European standards.

KEYWORDS

Stadium, sport, steel structure, roof structure, trusses, climatic loading, computational model.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Lucie Neničková *Zastřešení sportovního stadionu*. Brno, 2017. 178 s., 144 s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových
a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2018

Neničková Lucie

Bc. Lucie Neničková
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11. 1. 2018



Bc. Lucie Neničková
autor práce

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce	prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Autor práce	Bc. Lucie Neničková
Škola	Vysoké učení technické v Brně
Fakulta	Stavební
Ústav	Ústav kovových a dřevěných konstrukcí
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Název práce	Zastřešení sportovního stadionu
Název práce v anglickém jazyce	Roof Structure Sports Stadium
Typ práce	Diplomová práce
Přidělovaný titul	Ing.
Jazyk práce	Čeština
Datový formát elektronické verze	PDF
Abstrakt práce	Cílem diplomové práce je vypracování návrhu a statického posouzení nosné ocelové konstrukce zastřešení sportovního stadionu dle navržené dispozice. Klimatické zatížení (sníh a vítr) je stanoveno pro lokalitu Kopřivnice. Součástí práce je technická zpráva, statický posudek hlavních nosných částí a vybraných spojů, výkaz materiálu, technická zpráva srovnání dvou variant řešení a výkresová dokumentace. Výpočtový model pro stanovení vnitřních sil je realizován v programu Dlubal RSTAB 8.06. Posudky jsou vypracovány ručně dle platných evropských norem.
Abstrakt práce v anglickém jazyce	Aim of the final thesis is to create proposal and static assessment of supporting steel roof structure of sports stadium according to the proposed disposition. Climatic load (snow and wind) is determined for location Kopřivnice. The thesis consists of technical report, static report of main supporting parts and chosen connections, bill

of material quantities, technical report with comparison of 2 options solution and drawing documentation. Computational model for evaluation of internal forces is realized in Dlubal RSTAB 8.06 software. Static report is created manually according to valid European standards.

Klíčová slova Stadion, sport, ocelová konstrukce, zastřešení, vazníky, klimatické zatížení, výpočtový model.

**Klíčová slova
v anglickém
jazyce** Stadium, sport, steel structure, roof structure, trusses, climatic loading, computational model.

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Miroslavu Bajerovi, CSc. za odborné vedení, konzultace a cenné rady. Dále bych chtěla poděkovat své rodině, přítelovi a přátelům za trpělivost a podporu ve studijním úsilí.

OBSAH

Předepsané dokumenty:

- Technická zpráva – zhodnocení variant
- Technická zpráva zvolené varianty
- Statický výpočet

SEZNAM PŘÍLOH

- Výkresová dokumentace
- Výkaz materiálu
- Protokol z programu Dlubal RSTAB
- Statický výpočet nevybrané varianty



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

ZASTŘEŠENÍ SPORTOVNÍHO STADIONU

ROOF STRUCTURE SPORTS STADIUM

TECHNICKÁ ZPRÁVA – ZHODNOCENÍ VARIANT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lucie Neničková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. MIROSLAV BAJER, CSc.

BRNO 2018

Obsah

Obsah	2
Seznam obrázků	2
1. Úvod.....	3
2. Varianta č. 1.....	3
3. Varianta č. 2.....	4
4. Kritéria hodnocení.....	4
5. Volba varianty.....	5
9. Závěr	5

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Hlavní vazby konstrukce – varianta č. 1</i>	<i>3</i>
<i>Obrázek 2: Hlavní vazby konstrukce - varianta č. 2</i>	<i>4</i>

1. Úvod

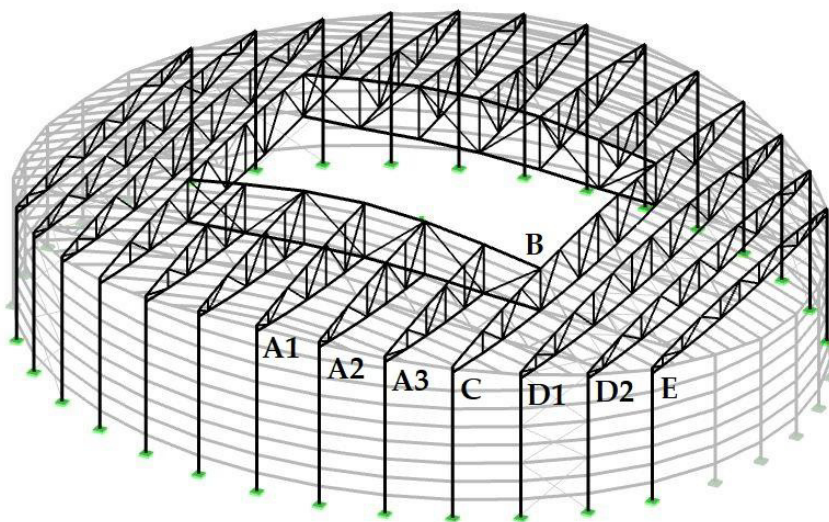
Byly vypracovány 2 varianty řešení. Celkový vnější tvar a vnější rozměry jsou v obou variantách shodné. Rozměrově se obě varianty liší pouze nepatrně, tyto případné drobné rozměrové rozdíly vycházejí z rozdílného konstrukčního řešení každé varianty. Bylo snahou zachovat stejný vnější tvar a rozměry, aby zatížení na obě varianty bylo stejné a aby bylo tedy možné obě varianty porovnat za stejných podmínek. Obě varianty jsou také navrženy ze stejného základního materiálu oceli S235JR.

2. Varianta č. 1

Statický výpočet 1. varianty je proveden pro nosnou ocelovou konstrukci zastřešení sportovního stadionu o maximálních půdorysných rozměrech 51,58x61,5 m.

Konstrukce je složená z příhradových vazníků se zakřivenými pásy různých délek, uložených na sloupech. Celkem je 13 vazeb, jejichž osové vzdálenosti jsou rozdílné. Délky sloupů se prodlužují směrem ke středu stadionu. Střešní konstrukce je tedy zaoblená v obou směrech. Uprostřed střechy je obdélníkový otvor velikosti 18x28,97 m. Stadion stojí na železobetonových patkách. Celková výška je 15,086 m od počátku 0,000.

Hlavními nosnými prvky jsou 2 vazníky ozn. „C“ (délky 45,43 m), které mezi sebou nesou 2 vazníky ozn. „B“ (délky 28,97 m). Prostor mezi těmito vazníky vytváří otvor ve střešní konstrukci. Dále jsou zde vazníky ozn. „A“ (délky 16,79 m, 16,45 m a 15,44 m), které jsou uloženy na vaznicích „B“ z vnější strany. Konstrukci ještě doplňují vazníky ozn. „D“ (délky 40,7 m a 34,62 m) a vazníky „E“ (délky 27,27 m). Vazníky jsou kloubově uloženy na sloupech. Nejmenší délka sloupu je 10 m, největší délka je 13,7 m. Sloupy jsou vetknuté do patek. Mezi nimi jsou kloubově uloženy paždíky a prstenec. Na vaznicích jsou kloubově uloženy vaznice. Konstrukce je zajištěna ve směru X ve dvou polích táhly Macalloy 460 a ve směru Y podélnými příhradovými ztužidly.



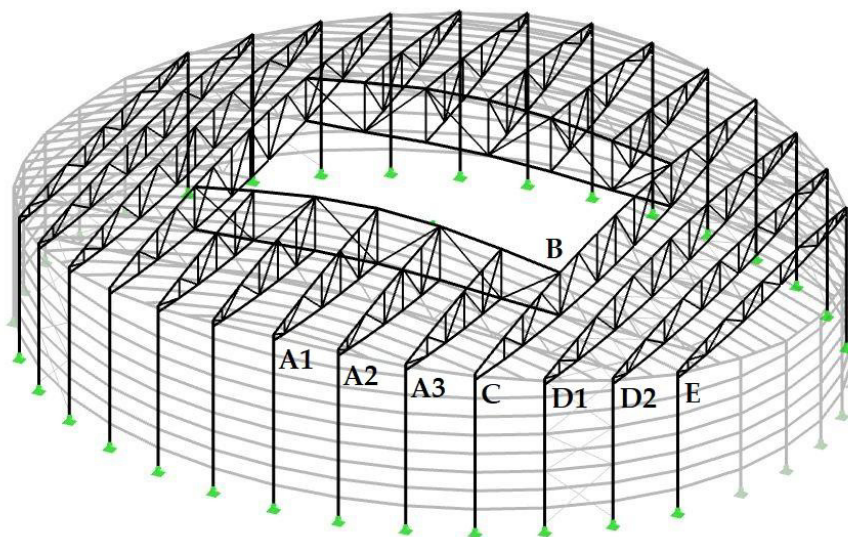
Obrázek 1: Hlavní vazby konstrukce – varianta č. 1

Výkaz materiálu viz Přílohy. Celková hmotnost konstrukce je přibližně 221,639 t, náterová plocha je 4454,11 m², bylo použito 2140 prutů 21 různých průřezů.

3. Varianta č. 2

Statický výpočet 2. varianty je proveden pro nosnou ocelovou konstrukci zastřešení sportovního stadionu o maximálních půdorysných rozměrech 51,58x61,5 m.

Konstrukce je do jisté míry shodná s první variantou. Druhá varianta se liší uložením vazníků. Místo kloubového přípoje jsou připojeny tuze. Rámového spojení je dosaženo vložením vzpěry mezi dolním pásem vazníku a sloupem. Další rozdíl je v uložení sloupů, místo vetknutí je kloubové kotvení.



Obrázek 2: Hlavní vazby konstrukce - varianta č. 2

Celková hmotnost konstrukce je přibližně 228,579 t, náterová plocha je 4575,7 m², bylo použito 2166 prutů 21 různých průřezů.

4. Kritéria hodnocení

- **Hmotnost** – jedno z klíčových ekonomických kritérií pro volbu varianty. Pro zhodnocení je uvažováno s jednotnou cenou oceli pro každou variantu a není zohledněn cenový rozdíl jednotlivých průřezů. Vzhledem k tomu, že v konstrukci převažují čtvercové trubky, je odhad ceny za kg oceli vyšší, než by tomu bylo u klasických otevřených válcovaných průřezů. Hmotnost nezahrnuje styčnickové plechy a spojovací materiál.
- **Pracnost** – kritériem pro vyjádření pracnosti je počet prutů v konstrukci. S rostoucím počtem roste počet spojů, náročnost provedení a čas potřebný ke zhotovení konstrukce. Konstrukce je navržena převážně z trubek, jejichž styky a úpravy jsou náročnější na výrobu a na přesnost.

- **Nátěrová plocha** – je vyjádřena plochou, na níž se musí realizovat a obnovovat nátěr.
- **Odhad ceny** – ve výsledné ceně je zahrnuta hmotnost konstrukce násobená odhadem ceny na kg oceli. Cena za kilogram oceli byla odhadnuta v závislosti na pracnosti výroby a montáže.

5. Volba varianty

	1. varianta	2. varianta	varianta 2 vzhledem k variantě 1
Hmotnost [t]	221,64	228,58	+3%
Nátěrová plocha [m ²]	4454,11	4575,7	+2,7%
Počet prutů [ks]	2140	2166	+1,2%
Počet použitých profilů	21	21	0%
1 kg oceli [Kč]	85	85	0%
Odhad ceny [mil. Kč]	18,8	19,4	+3,1%

První varianta byla navržena více s ohledem na estetické působení. Hmotnost je především odvozena od velikosti průřezů, které byly navrhnuty dle statického působení konstrukce. Ve druhé variantě vznikaly větší ohybové momenty ve vazbách, tudíž musely být zvětšeny průřezy, aby vyhověly na mezní stav únosnosti. Co se týče pracnosti, není až tak rozdílná. Konstrukce je už sama o sobě náročná na výrobu, kvůli různým velikostem vazníků a jejich osovým vzdálenostem. Jsou tedy různé délky pásů a diagonál a různé délky vaznic, paždíků a prutů podélného ztužidla. U druhé varianty je snadnější provedení kloubového kotvení za to ale složitější provedení tuhého styčnicku vazník/sloup. Pracnost tedy není hlavním kritériem hodnocení. Vzhledem k velikostem profilů, je nátěrová plocha u 2. varianty větší o zhruba 122 m², což se také odvíjí od konečné ceny konstrukce.

9. Závěr

K detailnímu zpracování je tedy vybrána varianta č. 1. Hlavním kritériem výběru byla celková cena konstrukce, která se odvíjí od hmotnosti konstrukce (ceny oceli za kg) a nátěrové plochy (ceny nátěru na m²).



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

ZASTŘEŠENÍ SPORTOVNÍHO STADIONU

ROOF STRUCTURE SPORTS STADIUM

TECHNICKÁ ZPRÁVA ZVOLENÉ VARIANTY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lucie Neničková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. MIROSLAV BAJER, CSc.

BRNO 2018

Obsah

Obsah	2
Seznam obrázků	2
1 Úvod.....	3
2 Zatížení	3
3 Materiál.....	3
4 Popis konstrukce	3
5 Výroba.....	4
6 Doprava	5
7 Montáž	5
8 Povrchová úprava	6
9 Závěr	6
Seznam použité literatury a zdrojů.....	7

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Postup montáže 1,2</i>	5
<i>Obrázek 2: Postup montáže 3,4</i>	6

1 Úvod

Cílem práce je navrhnout a posoudit ocelovou konstrukci zastřešení pro sportovní stadion. Jedná se o prostorovou prutovou konstrukci, sestavenou ze tří typů vazníků, které jsou uloženy na sloupech. Tuhost je zajištěna příčnými a podélnými ztužidly. Pozornost je věnována zejména stabilitnímu návrhu jednotlivých prutových prvků a spoji mezi nimi.

2 Zatížení

Stálé zatížení konstrukce se skládá z vlastní tíhy generované programem a z tíhy pláště z trapézového plechu. Dále je uvažována pojízdná konstrukce, kterou bude možné zatáhnout otvor ve střešní konstrukci. Počítá se s třemi případy: úplné zastřešení, polovina zastřešení a nezastřešený otvor. Dále je konstrukce zatížena klimatickým zatížením (sníh a vítr) stanoveným pro lokalitu Kopřivnice. Jedná se o sněhovou oblast II, tj. charakteristická hodnota zatížení 1,05 kN/m² a větrovou oblast II, kde výchozí rychlost větru je 25 m/s. Při nezastřešeném otvoru se počítá navíc s vnitřním tlakem (přetlakem). Nepůsobí zde žádné užité zatížení.

3 Materiál

Pro konstrukci jsou použity prvky z oceli pevnosti S235JR, S235JRH, S235JRT. Výjimkou jsou táhla Macalloy z oceli pevnosti S460Q, kotevní závitové tyče a některé styčnickové plechy z oceli S355JR. Železobetonové patky budou z betonu C20/25, vyztužené betonářkou ocelí B500B. Jako spojovací materiál jsou použity šrouby M16 až M27 třídy 5.8, 6.8 a 8.8. Pro tuhé ocelové patky jsou použity závitové tyče $\phi 30$ – S355JR s kotevní hlavou.

4 Popis konstrukce

Stadion je půdorysného tvaru elipsy o maximálních rozměrech 51,58x61,5 m. Konstrukce je složená z příhradových vazníků se zakřivenými pásy různých délek, vyrobených z čtvercových nebo obdélníkových trubek, které jsou uloženy na sloupech z kruhových trubek. Délky sloupů se prodlužují směrem ke středu stadionu. Nejmenší délka sloupu je 10 m, největší délka je 13,7 m. Celkem je 13 vazeb, jejichž osové vzdálenosti jsou rozdílné (viz výkres č. C1). Konstrukce je symetrická vzhledem k ose X tak i k ose Y. Střešní konstrukce je tedy zaoblená v obou směrech. Uprostřed střechy je obdélníkový otvor velikosti 18x28,97 m. Konstrukce stojí na železobetonových patkách. Minimální výška stěny stadionu je 9,4 m a maximální výška 13,1 m. Celková výška stadionu je 15,086 m od počátku 0,000.

Hlavními nosnými prvky jsou 2 vazníky ozn. „C“ (délky 45,43 m), které mezi sebou nesou 2 vazníky ozn. „B“ (délky 28,97 m). Prostor mezi těmito vazníky vytváří otvor ve střešní konstrukci. Dále jsou zde vazníky ozn. „A“ (délky 16,79 m, 16,45 m a 15,44 m), které jsou uloženy na vaznicích „B“ z vnější strany. Konstrukci ještě doplňují vazníky ozn. „D“ (délky 40,7

m a 34,62 m) a vazníky „E“ (délky 27,27 m). Vazníky jsou z různých profilů QRO a RRO dle statického posudku. Dalšími nosnými prvky jsou sloupy z kruhových trubek RO 457x14, RO 406,4x14 a RO 324x14. Sloupy jsou vetknuté do železobetonových patek. Na sloupy jsou kloubově uloženy vazníky. Mezi sloupy jsou kloubově uloženy paždíky po výšce 1,5 m z profilu HEA 120. Na vaznicích jsou kloubově uloženy vaznice z profilu RRO 250x150x6 po osové půdorysné vzdálenosti 1,5 m. Ve výšce cca 120 mm pod horní hranou sloupu budou uloženy nosníky, tzv. prstenec, na kterých jsou uloženy vaznice v místech, kde je nelze oboustranně uložit na vazník. Konstrukce je zajištěna ve směru X ve dvou polích ztužujícími táhly Macalloy 460 – M30, které se mezi sebou vykříží pomocí systémového dílce „cross coupler“. Ve směru Y je zajištěna podélnými příhradovými ztužidly, kde je dolní pás z profilu 2x L200x100x15 a diagonály z profilu 2x UPE120.

Plášť střešní konstrukce je z trapézového plechu ArcelorMittal 32/207-1,25. Na každé straně uprostřed budou umístěny 2 ocelové rámy výšky 3,9 m pro osazení dveří. Je navržen 1 hlavní vstup pro veřejnost, 2 vstupy pro personál a sportovce a 1 únikový východ navíc. Větrání při úplném zastřešení stadionu je vyřešeno mechanickým otevíráním oken, které jsou umístěny na dvou stranách ve směru Y ve výšce 8,4 m od počátku 0,000.

5 Výroba

Výroba všech vazníků bude probíhat v mostárně. Vzhledem k větším délkám vazníků než je maximální délka návěsu vozidla, je nutné vazníky rozdělit montážním spojem po maximálních vzdálenostech 13,5 m. Konce vazníků „A, C, D a E“ budou vyrobeny dle detailu viz výkres č. C15. Připoje vazníků „A,B a C“ budou upraveny dle detailů viz výkresy C11, C12, C13 a C14. Na horní pásy budou po půdorysné osové vzdálenosti 1,5 m navařeny styčnickové plechy dle výkresu č. C9 pro uchycení vaznic. Na dolní pásy v místech přípoje podélných ztužidel bude přivařen plech dle výkresu č. C6. Na sloupy budou z výroby přivařeny kusy délky 100 mm z profilu HEA120 po vzdálenosti 1,5 m s navařenou čelní deskou s otvory pro šrouby. Taktéž budou vyrobeny paždíky z HEA120 v daných délkách s čelní deskou na obou koncích. Stejným principem bude vyroben detail pro připojení prstence z profilu RRO 200x80x4, který se umístí osově 120 mm pod horní hranu sloupů. Nakonec bude na horní hranu sloupů přivařen čtvercový plech P10 (rozměr dle ϕ sloupu), na dolní hranu sloupů patní plechy (dle výkresu kotvení č. C5) a styčnickové plechy pro uchycení táhel. Vaznice budou vyrobeny v daných délkách a na jejich konce budou přivařeny styčnickové plechy P15-300x450 mm s nachystanými otvory pro šrouby. Konce vaznic se zavaří plechy P5-250x150 mm, aby nedošlo k vniku vody dovnitř trubky.

6 Doprava

Nejdelší prvek rozhodující pro volbu vozidla bude sloup $\phi 406,4 \times 14$ mm délky 13,7 m, celkem 2 ks. Druhým největším a nejtěžším prvkem bude svařovaná část vazníku „C“ o výšce 3,73 m a délce 13,5 m, hmotnost cca 3455 kg ($\approx 3,455$ t), celkem 4 ks. Při transportu vzhledem k výškám přepravovaných prvků nebude problém s maximální podjezdnou výškou pod mosty, tj. 4 m.

Celková hmotnost konstrukce činí 221,639 tun. Hmotnost nezahrnuje styčnickové plechy a spojovací materiál.

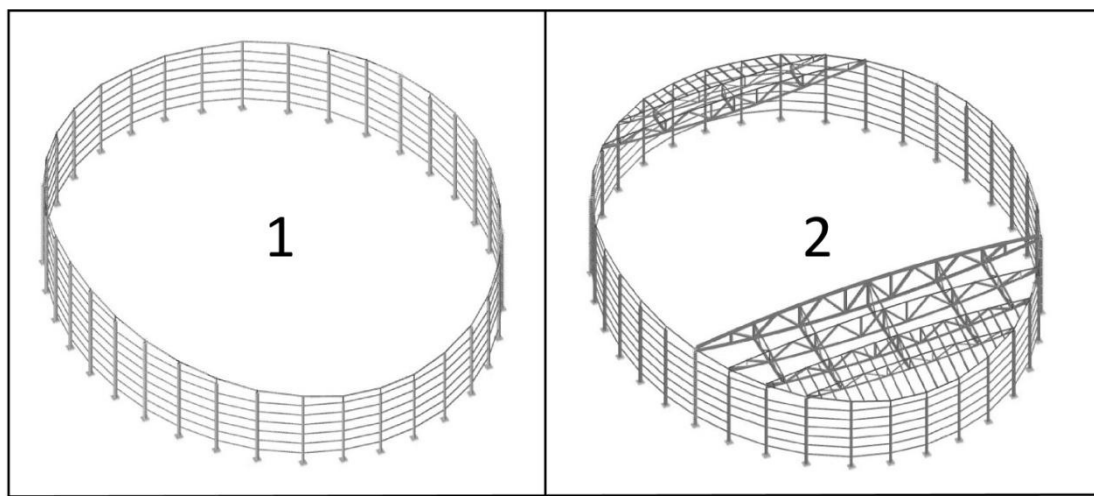
7 Montáž

Montáž konstrukce řeší postup výstavby nadzákladové ocelové konstrukce. Před započítím těchto prací musí dojít k předání spodní stavby, která zahrnuje železobetonové patky a musí splňovat veškeré požadavky.

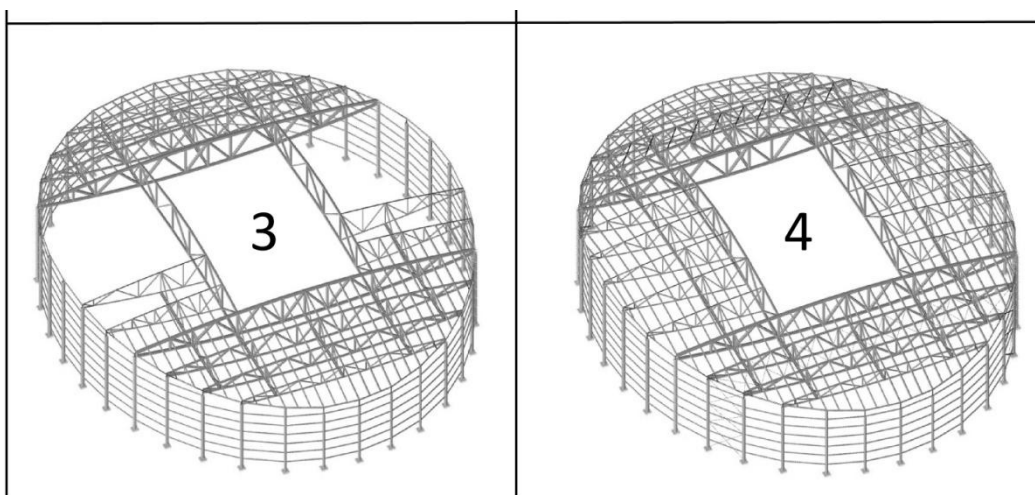
Nejprve budou na stavbě smontovány vazníky, které musely být rozděleny z důvodu maximální délky přepravy. Sloupy se zakotví do patek a zajistí se mezi sebou paždíky a prstencem. Vazníky se začnou ukládat postupně v jednom směru, počínaje vazníkem „E“. Ten se po uložení zajistí vaznicemi. Dále se postupně uloží vazníky „D“ a „C“, zajištěny mezi sebou podélnými ztužidly a postupným ukládáním vaznic po jednotlivých řadách. Celý postup se zopakuje z druhé strany ve druhém směru opět od vazníku „E“ po vazník „C“. Dále budou mezi vazníky „C“ namontovány vazníky „B“. Na ty se začnou postupně ukládat vazníky „A“, které se mezi sebou zajistí spojením podélných ztužidel a zbylými vaznicemi. Po smontování konstrukce budou osazena táhla a řádně dopnuta. Nakonec se vloží se rámy pro osazení dveří a oken.

Manipulace prvků na stavbě bude prováděna autojeřábem.

Nejtěžší prvek konstrukce o rozměrech 45,84x4,3 m váží 13230 kg ($\approx 13,23$ t).



Obrázek 1: Postup montáže 1,2



Obrázek 2: Postup montáže 3,4

8 Povrchová úprava

Konstrukce bude opatřena antikorozním ochranou ve formě nátěru. Jako základní vrstva bude použit epoxidový dvousložkový nátěr Unibar SteelKote Miox firmy Baril s vysokým obsahem sušiny a železité slídy. V další vrstvě bude nanesen opět epoxidový dvousložkový nátěr Unibar SteelKote Miox v odstínu RAL: 9006 (šedá).

9 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a posoudit ocelovou konstrukci zastřešení sportovního stadionu a vytvoření výkresové dokumentace. Navržené prvky konstrukce vychází ze zatížení platné pro dané území výstavby a vyhovují na mezní stav únosnosti a použitelnosti. Navržené řešení odpovídá předpisům a normám ČSN a EC. Při provádění stavby se bude postupovat dle platných norem ČSN a EC pro jednotlivé stavební práce. Důraz musí být kladen především na dodržování technických, technologických a jakostních předpisů (svařování ocelových konstrukcí, dotažení šroubů, skladování materiálu, manipulace s materiálem, bezpečnost práce aj.).

Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2003, 75 s.
- [2] ČSN EN 1991-1-3. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2004, 37 s.
- [3] ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí: Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 124 s.
- [4] ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí: – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006, 96 s.
- [5] ČSN EN 1993-1-8. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí: – Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: Český normalizační institut, 2006, 126 s.
- [6] Prof. Ing. STUDNIČKA, Jiří, DrSc.; Prof. Ing. HOLICKÝ, Milan, DrSc.; Doc. Ing. MARKOVÁ, Jana, Ph.D.. *Ocelové konstrukce 2 - Zatížení*. Praha: České vysoké učení technické, 2011, 138 s.
- [7] Táhla Macalloy. Dostupné z: <http://www.tension.cz/produkty/tahla-macalloy>
- [8] Ocelář.cz: Online výpočty, pomůcky pro statiky, projektanty a konstruktéry ocelových konstrukcí [online]. Ocelář.cz. [cit. 2017]. Dostupné z: <http://www.steelcalc.com/cs/>
- [9] Arval by ArcelorMittal: Tabulky únosností trapézových profilů ArcelorMittal (výroba Senica) [online]. Dostupné z: <http://www.arcelormittal.com/arval>
- [10] WANKE, J.; SPAL, L.. *Ocelové trubkové konstrukce*. SNTL, 1975, 524 s.
- [11] Vlastní studijní materiály ze cvičení a přednášek.

Použitý software:

- Dlubal RSTAB 8.06
- AutoCAD 2015
- MS Office



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

ZASTŘEŠENÍ SPORTOVNÍHO STADIONU

ROOF STRUCTURE SPORTS STADIUM

STATICKÝ VÝPOČET

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lucie Neničková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. MIROSLAV BAJER, CSc.

BRNO 2018

Obsah

Obsah	2
Seznam obrázků	5
1 Geometrie – schematické nákresy konstrukce	7
2 Zatížení	8
2.1 Stálé zatížení.....	9
2.1.1 Vlastní tíha.....	9
2.1.2 Ostatní stálé zatížení	10
2.2 Proměnné zatížení.....	10
2.2.1 Sníh.....	10
2.2.2 Vítr boční (osa X)	11
2.2.3 Vítr čelní (osa Y).....	13
2.2.4 Vnitřní tlak obecně	15
2.3 Kombinace zatížení	15
2.3.1 Kombinace pro MSÚ	15
2.3.2 Kombinace pro MSP.....	18
3 Výpočet vnitřních sil.....	21
3.1 Výpočtový model	21
4 Návrh a posouzení	22
4.1 Posouzení mezního stavu únosnosti	22
4.1.1 Trapézový plech	22
4.1.2 Vaznice.....	22
4.1.3 Vazníky „A“	28
4.1.4 Vazník „B“	35
4.1.5 Vazník „C“	43
4.1.6 Vazník „D“	53
4.1.7 Vazník „E“	59
4.1.8 Sloupy pod vazníky „C“	66
4.1.9 Sloupy pod vazníky „A“	69
4.1.10 Sloupy pod vazníky „D,E“	73
4.1.11 Sloupy ostatní.....	76

4.1.12 Paždíky	80
4.1.13 Vaznice – prstenec	84
4.1.14 Příčné ztužidlo	88
4.1.15 Podélné ztužidlo	89
4.1.16 Shrnutí průřezů	92
4.2 Posouzení mezního stavu použitelnosti	93
5 Detaily	94
5.1 Kotvení hlavních sloupů – K1	94
5.1.1 Posouzení betonu na tlak	95
5.1.2 Posouzení svaru mezi patním plechem a sloupem	98
5.1.3 Přenos vodorovných sil	98
5.1.4 Posouzení šroubů	99
5.2 Kotvení hlavních sloupů – K2	101
5.2.1 Posouzení betonu na tlak	101
5.2.2 Posouzení svaru mezi patním plechem a sloupem	104
5.2.3 Přenos vodorovných sil	105
5.2.4 Posouzení šroubů	105
5.3 Kotvení sloupů – K3.....	107
5.3.1 Posouzení betonu na tlak	108
5.3.2 Posouzení svaru mezi patním plechem a sloupem	111
5.3.3 Přenos vodorovných sil	111
5.3.4 Posouzení šroubů	112
5.4 Detail A – přípoj vaznice	114
5.4.1 Styčnickový plech na vazníku	115
5.4.2 Styčnickový plech na vaznici.....	115
5.4.3 Posouzení šroubů	116
5.4.4 Zohlednění ohyb. momentu od excentricity	117
5.5 Detail A – přípoj ztužidla	117
5.5.1 Diagonály.....	117
5.5.1.1 Styčnickový plech P15 (geometrie dle výkresu č. C9).....	118
5.5.1.2 Posouzení šroubů	119
5.5.1.3 Zohlednění ohyb. momentu od excentricity	120

5.5.2 Dolní pás	121
5.5.2.1 Styčnickový plech.....	121
5.5.2.2 Posouzení šroubů	122
5.5.2.3 Zohlednění ohyb. momentu od excentricity	122
5.6 Detail B – přípoj paždíku.....	123
5.6.1 Posouzení svaru na sloupu (shodné se svarem na čelní desce).....	124
5.6.2 Posouzení šroubů	125
5.6.3 Zohlednění ohyb. momentu od excentricity	127
5.7 Detail C – přípoj vazníku „A“ k vazníku „B“	127
5.7.1 Horní pás	127
5.7.1.1 Posouzení svaru na horním pásu vazníku „B“	128
5.7.1.2 Posouzení svaru čelní desky	129
5.7.1.3 Posouzení šroubů	129
5.7.1.4 Zohlednění ohyb. momentu od excentricity	131
5.7.2 Dolní pás	131
5.7.2.1 Posouzení svaru na horním pásu vazníku „B“	132
5.7.2.2 Posouzení svaru čelní desky	132
5.7.2.3 Posouzení šroubů	133
5.7.2.4 Zohlednění ohyb. momentu od excentricity	134
5.8 Detail D – přípoj vazníku „B“ k vazníku „C“	135
5.8.1 Horní pás	135
5.8.1.1 Posouzení svaru na horním pásu vazníku „C“	135
5.8.1.2 Posouzení svaru čelní desky	136
5.8.1.3 Posouzení šroubů	137
5.8.1.4 Zohlednění ohyb. momentu od excentricity	137
5.8.2 Dolní pás	138
5.8.2.1 Posouzení svaru na dolním pásu vazníku „C“	138
5.8.2.2 Posouzení svaru čelní desky	139
5.8.2.3 Posouzení šroubů	140
5.8.2.4 Zohlednění ohyb. momentu od excentricity	141
5.9 Detail E – přípoj vazníku „A“ ke sloupu	142
5.9.1 Posouzení průřezu	143

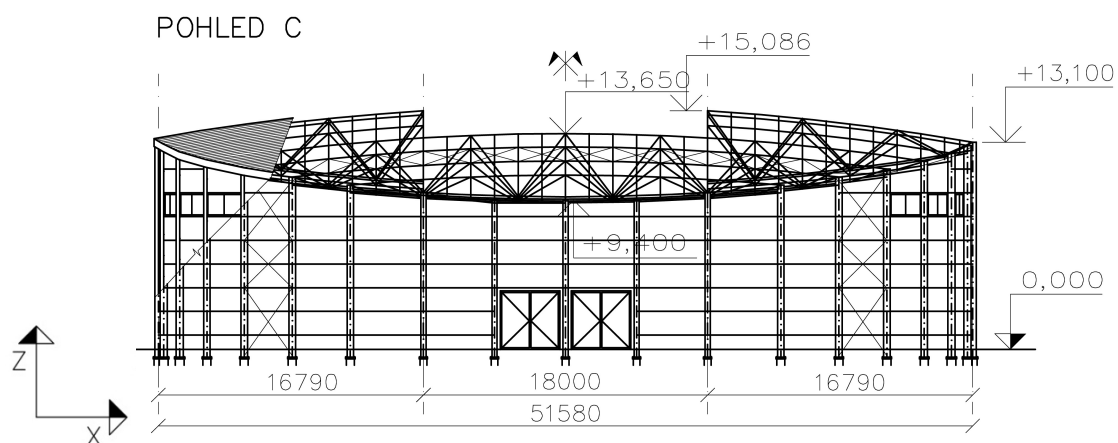
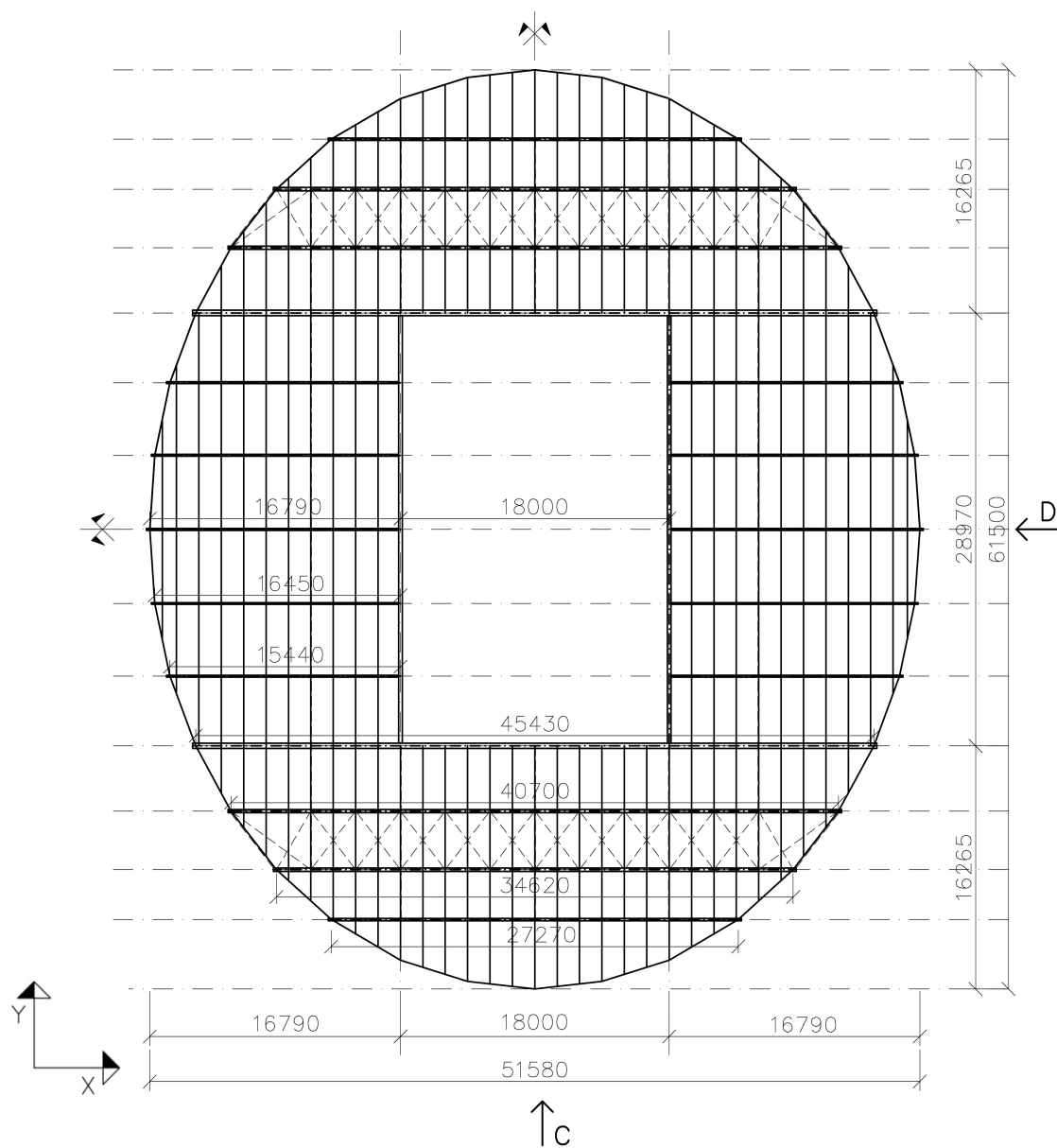
5.9.2 Posouzení svaru	143
5.9.3 Posouzení šroubů	144
5.10 Detail E – přípoj prstence ke sloupu	145
5.10.1 Posouzení svaru na sloupu	146
5.10.2 Posouzení čelní desky P10 – 220x340	147
5.10.3 Posouzení šroubů	148
5.10.4 Zohlednění ohyb. momentu od excentricity	149
5.11 Detail F – montážní spoj vazníku.....	150
5.11.1 Horní pás – QRO 220x220x8	150
5.11.1.1 Posouzení čelní desky	150
5.11.1.2 Posouzení šroubů	151
5.11.2 Dolní pás – QRO 220x220x5	151
5.11.2.1 Posouzení čelní desky	152
5.11.2.2 Posouzení šroubů	152
5.11.3 Diagonála – QRO 220x220x5	154
5.11.3.1 Posouzení čelní desky	154
5.11.3.2 Posouzení šroubů	155

Seznam obrázků

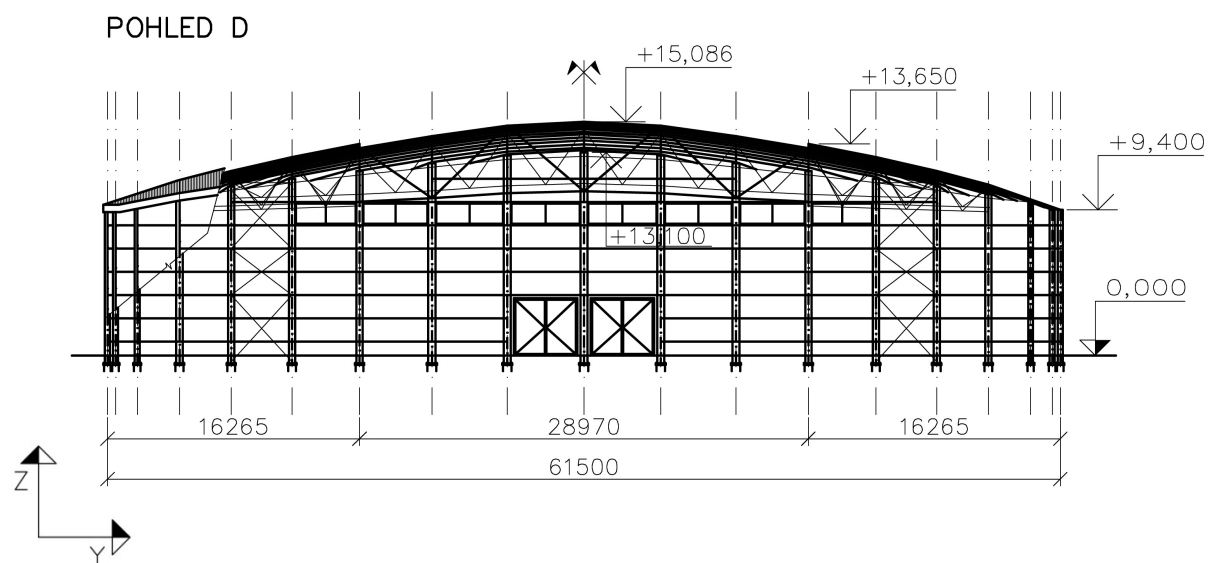
Obrázek 1: Schéma konstrukce	7
Obrázek 2: Schéma konstrukce-pohled D	8
Obrázek 3: Schéma zatížení od pojízdné konstrukce zastřešení otvoru	10
Obrázek 4: Sníh-válcové střechy	10
Obrázek 5: Tvarový součinitel	11
Obrázek 6: Sníh-pultová střecha	11
Obrázek 7: Vitr-kopule s kruhovou základnou	12
Obrázek 8: Axonometrie konstrukce	21
Obrázek 9: Trapézový plech	22
Obrázek 10: Součinitele C_m	25
Obrázek 11: Kotvení K1	95
Obrázek 12: Efektivní plocha.....	95
Obrázek 13: Efektivní plocha 2.....	96
Obrázek 14: Max. napětí v betonu	97
Obrázek 15: I_y pro svar	98
Obrázek 16: Kotevní hlava	100

Obrázek 17: Kotvení K2	101
Obrázek 18: Kotvení K3	108
Obrázek 19: Detail A - přípoj vaznice a diagonály podélného ztužidla	114
Obrázek 20: Porušení povrchu pásu – plech/jekl	118
Obrázek 21: Detail A - přípoj dolního pásu ztužidla	121
Obrázek 22: Detail B - přípoj paždíku	123
Obrázek 23: Porušení povrchu pásu – HEA/trubka	125
Obrázek 24: Detail C - horní pás	127
Obrázek 25: Porušení povrchu pásu – jechl/jekl	128
Obrázek 26: Detail C - dolní pás	131
Obrázek 27: Detail D - horní pás	135
Obrázek 28: Detail D - dolní pás	138
Obrázek 29: Detail E	142
Obrázek 30: Detail E - přípoj prstence	145
Obrázek 31: Porušení povrchu pásu - trubka/jekl	147

1 Geometrie – schematické nákresy konstrukce



Obrázek 1: Schéma konstrukce



Obrázek 2: Schéma konstrukce-pohled D

2 Zatížení

Zatížení bylo počítáno podle ČSN EN 1991-1 – Zatížení konstrukcí

Bylo uvažováno 28 zatěžovacích stavů.

Zatěž. stav	Označení zatěž. stavu	Řešit	EN 1990 ČSN Kategorie účinků	Vlastní tíha Aktivní
ZS1	vlastní tíha + plášť	-	Stálé	+
ZS2	vlastní tíha + plášť + otevřená kce	+	Stálé	+
ZS3	vlastní tíha + plášť + 1/2 kce	+	Stálé	+
ZS4	vlastní tíha + plášť + zatažená kce	+	Stálé	+
ZS5	sníh plný (otevřený otvor)	+	Sníh (H < 1000 m n.m.)	-
ZS6	sníh plný + 1/2 otvoru	+	Sníh (H < 1000 m n.m.)	-
ZS7	sníh plný + zatažený otvor	+	Sníh (H < 1000 m n.m.)	-
ZS8	sníh navátý levý (otevřený otvor)	+	Sníh (H < 1000 m n.m.)	-
ZS9	sníh navátý pravý (otevřený otvor)	+	Sníh (H < 1000 m n.m.)	-
ZS10	sníh navátý levý + 1/2 otvoru	+	Sníh (H < 1000 m n.m.)	-
ZS11	sníh navátý pravý + 1/2 otvoru	+	Sníh (H < 1000 m n.m.)	-
ZS12	sníh navátý levý + zatažený otvor	+	Sníh (H < 1000 m n.m.)	-
ZS13	sníh navátý pravý + zatažený otvor	+	Sníh (H < 1000 m n.m.)	-
ZS14	sníh navátý levý podélně (otevřený otvor)	+	Sníh (H < 1000 m n.m.)	-
ZS15	sníh navátý pravý podélně (otevřený otvor)	+	Sníh (H < 1000 m n.m.)	-
ZS16	sníh navátý levý podélně + 1/2 otvoru	+	Sníh (H < 1000 m n.m.)	-
ZS17	sníh navátý pravý podélně + 1/2 otvoru	+	Sníh (H < 1000 m n.m.)	-
ZS18	sníh navátý levý podélně + zatažený otvor	+	Sníh (H < 1000 m n.m.)	-
ZS19	sníh navátý pravý podélně + zatažený otvor	+	Sníh (H < 1000 m n.m.)	-
ZS20	vítr čelní (otevřený otvor) -	+	Vítr	-
ZS21	vítr čelní (otevřený otvor) +	+	Vítr	-
ZS22	vítr čelní + 1/2 otvoru	+	Vítr	-
ZS23	vítr čelní (osa Y) + zatažený otvor	+	Vítr	-
ZS24	vítr boční (otevřený otvor) -	+	Vítr	-
ZS25	vítr boční (otevřený otvor) +	+	Vítr	-
ZS26	vítr boční + 1/2 otvoru	+	Vítr	-
ZS27	vítr boční (osa X) + zatažený otvor	+	Vítr	-
ZS28	vnitřní tlak (otevřený otvor)	-	Vítr	-
ZS29	vnitřní tlak + 1/2 otvoru	-	Vítr	-

2.1 Stálé zatížení

2.1.1 Vlastní tíha

Zatížení vlastní tíhou je generováno programem Dlubal RSTAB na základě průřezů, které jsou přiřazeny jednotlivým prutům.

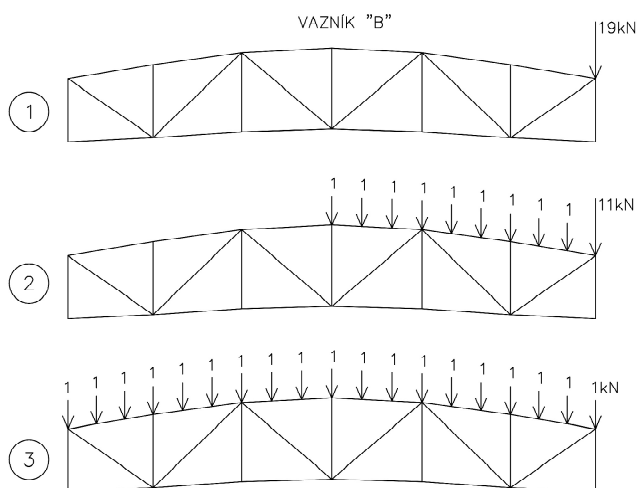
2.1.2 Ostatní stálé zatížení

Střešní plášť je tvořen trapézovými plechy ArcelorMittal 32/207 – 1,25.

Hmotnost plechu o šířce 1m: **10,7 kg/m**

Zatěžovací šířka vaznice je 1,5 m: $1,5 \cdot 10,7 = 16,05 \text{ kg/m} = \mathbf{0,1605 \text{ kN/m}}$

Otvor 28,97x18 m ve střešní konstrukci bude možné zastřešit posuvnou konstrukcí, která bude pojížděná po vaznících „B“. Jsou uvažovány 3 stavy: otevřený otvor, zatažena polovina otvoru a zatažený otvor. Při otevřeném otvoru je uvažována osová síla **19kN** na jednom konci vazníků. Při zatažení otvoru je uvažováno zatížení po **1kN** ve vzdálenostech 1/3 pole vazníku (viz Obrázek 3)



Obrázek 3: Schéma zatížení od pojízdne konstrukce zastřešení otvoru

2.2 Proměnné zatížení

2.2.1 Sníh

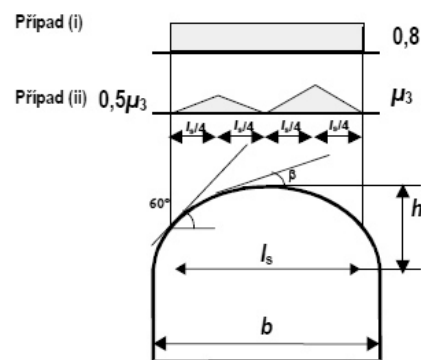
Stadion se nachází v Kopřivnici – sněhová oblast II.

Charakteristická hodnota zatížení sněhem: $s_k = 1,05 \text{ kN/m}^2$

Expoziční součinitel (normální krajina): $C_e = 1,0$

Součinitel teploty: $C_t = 1,0$

➤ Pokud je otvor ve střešní konstrukci zastřešen jsou



Obrázek 4: Sníh-válcové střechy

tvarové součinitele brány pro případ válcové střechy dle ČSN 1991-1-3.

Tvarový součinitel: $\mu_1 = 0,8$

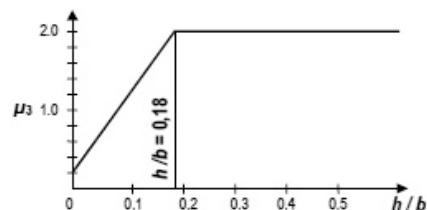
$$s = \mu_1 * C_e * C_t * s_k = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 1,05 = \mathbf{0,84 \text{ kN/m}^2}$$

Zatížení na vaznici: $0,84 * 1,5 = \mathbf{1,26 \text{ kN/m}}$

Tvarový součinitel: $\mu_3 = 1,1$

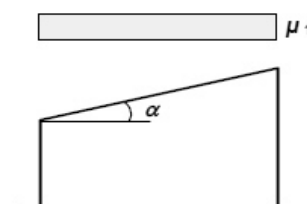
$$s = \mu_3 * C_e * C_t * s_k = 1,1 * 1,0 * 1,0 * 1,05 = \mathbf{1,155 \text{ kN/m}^2}$$

Zatížení na vaznici: $1,155 * 1,5 = \mathbf{1,7325 \text{ kN/m}}$



Obrázek 5: Tvarový součinitel

- Pokud je otvor ve střešní konstrukci nezastřešen jsou tvarové součinitele brány pro případ pultové střechy dle ČSN 1991-1-3.



Obrázek 6: Sníh-pultová střecha

2.2.2 Vítr boční (osa X)

Stadion se nachází v Kopřivnici – větrová oblast II.

Kategorie terénu III (předměstské oblasti, souvislé lesy).

Výchozí základní rychlost větru $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

Parametr drsnosti terénu: $z_0 = 0,3 \text{ m}$

Minimální výška: $z_{min} = 5 \text{ m}$

a) Tlak větru pro výšku >10 m nad terénem (střecha):

Součinitel směru větru: $C_{dir} = 1,0$

Součinitel ročního období: $C_{season} = 1,0$

Základní rychlost větru: $C_{dir} * C_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 25 = 25 \text{ m/s}$

Součinitel terénu: $K_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 * \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$

Součinitel drsnosti terénu: $C_{r(z)} = K_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 * \ln\left(\frac{13}{0,3}\right) = 0,81$

Součinitel orografie: $C_{o(z)} = 1,0$

Střední rychlost větru: $v_{m(z)} = C_{r(z)} * C_{o(z)} * v_b = 0,81 * 1,0 * 27,5 = 20,25 \text{ m/s}$

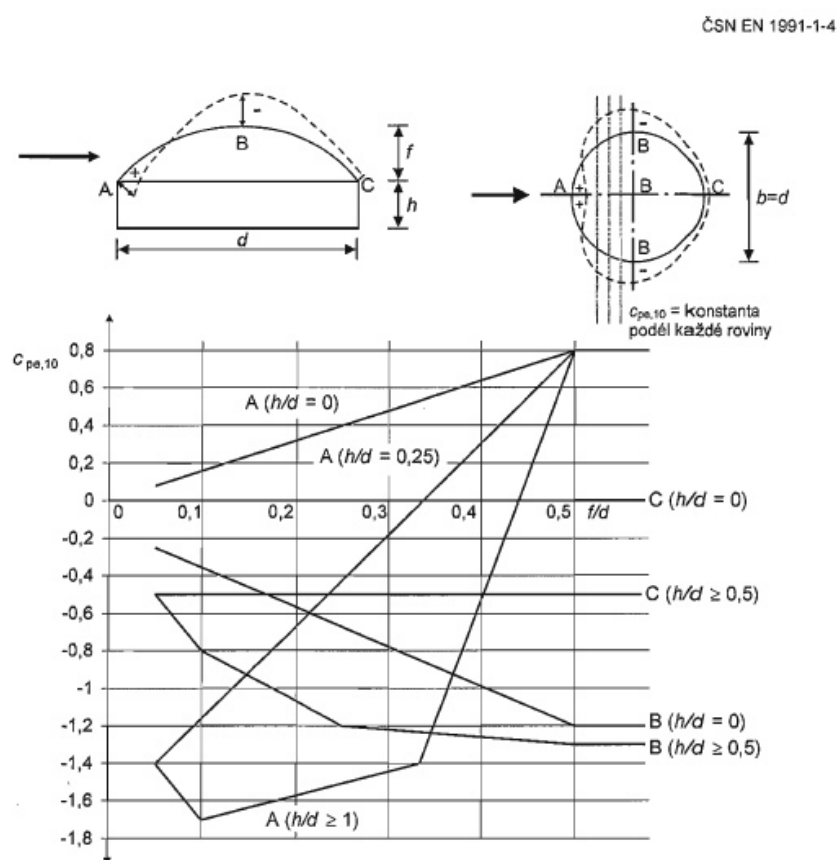
$$\text{Intenzita turbulence: } I_{v(z)} = \frac{k_I}{c_{o(z)} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{13}{0,3}\right)} = 0,265$$

Maximální dynamický tlak větru:

$$q_{p(z)} = \left[1 + 7 \cdot I_{v(z)}\right] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{m(z)}^2 = [1 + 7 \cdot 0,265] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 20,25^2 = 0,732 \text{ kN/m}^2$$

b) Tlak větru na povrchu:

Rozdělení střechy a stěn na oblasti bylo provedeno dle požadavků pro kopule s kruhovou základnou dle ČSN1991-1-3, které nejlépe odpovídaly danému tvaru konstrukce stadionu.



$$f/d=0,04; h/d=0,27$$

OBLAST	A	B	C
$C_{pe,10}$	-1,4	-0,25	0
$W_e = C_{pe,10} \cdot q_p(z) [\text{kN/m}^2]$	-1,025	-0,183	0

pozn.: pro oblast A uvažováno kladné znaménko (tlak)

Pro ZS20,ZS21 a ZS24,ZS25 – Vítr čelní a boční (otevřený otvor) uvažujeme zatížení větrem na střechu jako pro pultové střechy. Pro zjednodušení je uvažována pouze 1 oblast, pouze ta nejnepríznivější hodnota ze všech oblastí. Sklon střechy je 20°.

Zatěžovací šířka vaznice = 1,5 m.

Pro $\Phi=0^\circ$:

OBLAST	H (-)	H (+)
$C_{pe,10}$	-0,27	+0,37
$W_e = C_{pe,10} * q_p(z) [kN/m^2]$	-0,198	+0,27

Pro $\Phi=180^\circ$:

OBLAST	H (-)
$C_{pe,10}$	-0,87
$W_e = C_{pe,10} * q_p(z) [kN/m^2]$	-0,637

Pro $\Phi=90^\circ$:

OBLAST	I (-)
$C_{pe,10}$	-0,73
$W_e = C_{pe,10} * q_p(z) [kN/m^2]$	-0,534

2.2.3 Vítr čelní (osa Y)

Skleník se nachází v Kopřivnici – větrová oblast II.

Kategorie terénu III (předměstské oblasti, souvislé lesy).

Výchozí základní rychlost větru $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

Parametr drsnosti terénu: $z_0 = 0,3 \text{ m}$

Minimální výška: $z_{min} = 5 \text{ m}$

a) Tlak větru pro výšku 13 m nad terénem (střecha):

Součinitel směru větru: $C_{dir} = 1,0$

Součinitel ročního období: $C_{season} = 1,0$

Základní rychlost větru: $C_{dir} * C_{season} * v_{b,0} = 1,0 * 1,0 * 25 = 25 \text{ m/s}$

Součinitel terénu: $K_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 * \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$

Součinitel drsnosti terénu: $C_{r(z)} = K_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 * \ln\left(\frac{10}{0,3}\right) = 0,754$

Součinitel orografie: $C_{o(z)} = 1,0$

Střední rychlost větru: $v_{m(z)} = C_{r(z)} * C_{o(z)} * v_b = 0,754 * 1,0 * 27,5 = 18,84 \text{ m/s}$

Intenzita turbulence: $I_{v(z)} = \frac{k_I}{C_{o(z)} * \ln(\frac{z}{z_0})} = \frac{1,0}{1,0 * \ln(\frac{10}{0,3})} = 0,285$

Maximální dynamický tlak větru:

$$q_{p(z)} = [1 + 7 * I_{v(z)}] * \frac{1}{2} * \rho * v_{m(z)}^2 = [1 + 7 * 0,285] * \frac{1}{2} * 1,25 * 18,84^2 = 0,664 \text{ kN/m}^2$$

b) Tlak větru na povrchu:

Rozdělení střechy a stěn na oblasti bylo provedeno dle požadavků pro kopule s kruhovou základnou dle ČSN1991-1-3, které nejlépe odpovídaly danému tvaru konstrukce stadionu (viz Obrázek 7)

$f/d=0,09$; $h/d=0,16$

OBLAST	A	B	C
$C_{pe,10}$	-1,2	-0,25	0
$W_e = C_{pe,10} * q_p(z) [\text{kN/m}^2]$	-0,797	-0,166	0

pozn.: pro oblast A uvažováno kladné znaménko (tlak)

Pro ZS20,ZS21 a ZS24,ZS25 – Vítr čelní a boční (otevřený otvor) uvažujeme zatížení větrem na střechu jako pro pultové střechy. Pro zjednodušení je uvažována pouze 1 oblast, pouze ta nejnepríznivější hodnota ze všech oblastí. Sklon střechy je 20°.

Zatěžovací šířka vaznice = 1,5 m.

Pro $\Phi=0^\circ$

OBLAST	H (-)	G (+)
$C_{pe,10}$	-0,27	+0,37
$W_e = C_{pe,10} * q_p(z) [\text{kN/m}^2]$	-0,179	+0,246

Pro $\Phi=180^\circ$

OBLAST	H (-)
$C_{pe,10}$	-0,87
$W_e = C_{pe,10} * q_p(z) [\text{kN/m}^2]$	-0,578

Pro $\Phi=90^\circ$

OBLAST	I (-)
$C_{pe,10}$	-0,73
$W_e = C_{pe,10} * q_p(z) [\text{kN/m}^2]$	-0,484

2.2.4 Vnitřní tlak obecně

Při nezastřešeném otvoru je uvažován kladný vnitřní tlak větru (přetlak), který působí po celé ploše střechy. Vnitřní tlak působí i na paždíky, které jsou ve výšce nad 7,5 metrů od kotvení konstrukce. Toto zatížení je přičteno k zatěžovacím stavům ZS21,22,23 a ZS24,25,26.

$$C_{pi} = 0,9 \cdot C_{pe} = 0,9 \cdot 0,25 = 0,225$$

C_{pi}	+0,225
$W_e = C_{pi} \cdot q_p(z) \text{ [kN/m}^2\text{]}$	+0,1494

Zatěžovací šířka vaznic a paždíků = 1,5 m.

2.3 Kombinace zatížení

Kombinace byly vygenerovány programem Dlubal RSTAB podle ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí. Kombinace pro únosnost byly vytvořeny podle rovnice 6.10, pro použitelnost podle rovnice 6.14b – charakteristická kombinace.

2.3.1 Kombinace pro MSÚ

Kombin. zatížení	Kombinace zatížení		ZS.1		ZS.2		ZS.3	
		Označení	Faktor	Č.	Faktor	Č.	Faktor	Č.
KZ1	MSÚ	1.35*ZS2	1,35	ZS2				
KZ2	MSÚ	1.35*ZS3	1,35	ZS3				
KZ3	MSÚ	1.35*ZS4	1,35	ZS4				
KZ4	MSÚ	1.35*ZS2 + 1.5*ZS5	1,35	ZS2	1,50	ZS5		
KZ5	MSÚ	1.35*ZS2 + 1.5*ZS8	1,35	ZS2	1,50	ZS8		
KZ6	MSÚ	1.35*ZS2 + 1.5*ZS9	1,35	ZS2	1,50	ZS9		
KZ7	MSÚ	1.35*ZS2 + 1.5*ZS14	1,35	ZS2	1,50	ZS14		
KZ8	MSÚ	1.35*ZS2 + 1.5*ZS15	1,35	ZS2	1,50	ZS15		
KZ9	MSÚ	1.35*ZS3 + 1.5*ZS6	1,35	ZS3	1,50	ZS6		
KZ10	MSÚ	1.35*ZS3 + 1.5*ZS10	1,35	ZS3	1,50	ZS10		
KZ11	MSÚ	1.35*ZS3 + 1.5*ZS11	1,35	ZS3	1,50	ZS11		
KZ12	MSÚ	1.35*ZS3 + 1.5*ZS16	1,35	ZS3	1,50	ZS16		
KZ13	MSÚ	1.35*ZS3 + 1.5*ZS17	1,35	ZS3	1,50	ZS17		
KZ14	MSÚ	1.35*ZS4 + 1.5*ZS7	1,35	ZS4	1,50	ZS7		
KZ15	MSÚ	1.35*ZS4 + 1.5*ZS12	1,35	ZS4	1,50	ZS12		
KZ16	MSÚ	1.35*ZS4 + 1.5*ZS13	1,35	ZS4	1,50	ZS13		
KZ17	MSÚ	1.35*ZS4 + 1.5*ZS18	1,35	ZS4	1,50	ZS18		
KZ18	MSÚ	1.35*ZS4 + 1.5*ZS19	1,35	ZS4	1,50	ZS19		
KZ19	MSÚ	1.35*ZS2 + 1.5*ZS5 + 0.9*ZS20	1,35	ZS2	1,50	ZS5	0,90	ZS20

KZ20	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS5 + 0.9 \cdot ZS21$	1,35	ZS2	1,50	ZS5	0,90	ZS21
KZ21	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS5 + 0.9 \cdot ZS24$	1,35	ZS2	1,50	ZS5	0,90	ZS24
KZ22	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS5 + 0.9 \cdot ZS25$	1,35	ZS2	1,50	ZS5	0,90	ZS25
KZ23	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS20$	1,35	ZS2	1,50	ZS8	0,90	ZS20
KZ24	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS21$	1,35	ZS2	1,50	ZS8	0,90	ZS21
KZ25	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS24$	1,35	ZS2	1,50	ZS8	0,90	ZS24
KZ26	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS8 + 0.9 \cdot ZS25$	1,35	ZS2	1,50	ZS8	0,90	ZS25
KZ27	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS9 + 0.9 \cdot ZS20$	1,35	ZS2	1,50	ZS9	0,90	ZS20
KZ28	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS9 + 0.9 \cdot ZS21$	1,35	ZS2	1,50	ZS9	0,90	ZS21
KZ29	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS9 + 0.9 \cdot ZS24$	1,35	ZS2	1,50	ZS9	0,90	ZS24
KZ30	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS9 + 0.9 \cdot ZS25$	1,35	ZS2	1,50	ZS9	0,90	ZS25
KZ31	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS14 + 0.9 \cdot ZS20$	1,35	ZS2	1,50	ZS14	0,90	ZS20
KZ32	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS14 + 0.9 \cdot ZS21$	1,35	ZS2	1,50	ZS14	0,90	ZS21
KZ33	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS14 + 0.9 \cdot ZS24$	1,35	ZS2	1,50	ZS14	0,90	ZS24
KZ34	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS14 + 0.9 \cdot ZS25$	1,35	ZS2	1,50	ZS14	0,90	ZS25
KZ35	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS15 + 0.9 \cdot ZS20$	1,35	ZS2	1,50	ZS15	0,90	ZS20
KZ36	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS15 + 0.9 \cdot ZS21$	1,35	ZS2	1,50	ZS15	0,90	ZS21
KZ37	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS15 + 0.9 \cdot ZS24$	1,35	ZS2	1,50	ZS15	0,90	ZS24
KZ38	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS15 + 0.9 \cdot ZS25$	1,35	ZS2	1,50	ZS15	0,90	ZS25
KZ39	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS6 + 0.9 \cdot ZS22$	1,35	ZS3	1,50	ZS6	0,90	ZS22
KZ40	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS6 + 0.9 \cdot ZS26$	1,35	ZS3	1,50	ZS6	0,90	ZS26
KZ41	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS10 + 0.9 \cdot ZS22$	1,35	ZS3	1,50	ZS10	0,90	ZS22
KZ42	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS10 + 0.9 \cdot ZS26$	1,35	ZS3	1,50	ZS10	0,90	ZS26
KZ43	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS11 + 0.9 \cdot ZS22$	1,35	ZS3	1,50	ZS11	0,90	ZS22
KZ44	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS11 + 0.9 \cdot ZS26$	1,35	ZS3	1,50	ZS11	0,90	ZS26
KZ45	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS16 + 0.9 \cdot ZS22$	1,35	ZS3	1,50	ZS16	0,90	ZS22
KZ46	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS16 + 0.9 \cdot ZS26$	1,35	ZS3	1,50	ZS16	0,90	ZS26
KZ47	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS17 + 0.9 \cdot ZS22$	1,35	ZS3	1,50	ZS17	0,90	ZS22
KZ48	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS17 + 0.9 \cdot ZS26$	1,35	ZS3	1,50	ZS17	0,90	ZS26
KZ49	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS7 + 0.9 \cdot ZS23$	1,35	ZS4	1,50	ZS7	0,90	ZS23
KZ50	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS7 + 0.9 \cdot ZS27$	1,35	ZS4	1,50	ZS7	0,90	ZS27
KZ51	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS12 + 0.9 \cdot ZS23$	1,35	ZS4	1,50	ZS12	0,90	ZS23
KZ52	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS12 + 0.9 \cdot ZS27$	1,35	ZS4	1,50	ZS12	0,90	ZS27
KZ53	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS13 + 0.9 \cdot ZS23$	1,35	ZS4	1,50	ZS13	0,90	ZS23
KZ54	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS13 + 0.9 \cdot ZS27$	1,35	ZS4	1,50	ZS13	0,90	ZS27
KZ55	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS18 + 0.9 \cdot ZS23$	1,35	ZS4	1,50	ZS18	0,90	ZS23
KZ56	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS18 + 0.9 \cdot ZS27$	1,35	ZS4	1,50	ZS18	0,90	ZS27
KZ57	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS19 + 0.9 \cdot ZS23$	1,35	ZS4	1,50	ZS19	0,90	ZS23
KZ58	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS19 + 0.9 \cdot ZS27$	1,35	ZS4	1,50	ZS19	0,90	ZS27
KZ59	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS20$	1,35	ZS2	1,50	ZS20		
KZ60	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS21$	1,35	ZS2	1,50	ZS21		

KZ61	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS24$	1,35	ZS2	1,50	ZS24		
KZ62	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS25$	1,35	ZS2	1,50	ZS25		
KZ63	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS22$	1,35	ZS3	1,50	ZS22		
KZ64	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS26$	1,35	ZS3	1,50	ZS26		
KZ65	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS23$	1,35	ZS4	1,50	ZS23		
KZ66	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS27$	1,35	ZS4	1,50	ZS27		
KZ67	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS20$	1,35	ZS2	0,75	ZS5	1,50	ZS20
KZ68	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS21$	1,35	ZS2	0,75	ZS5	1,50	ZS21
KZ69	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS24$	1,35	ZS2	0,75	ZS5	1,50	ZS24
KZ70	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS5 + 1.5 \cdot ZS25$	1,35	ZS2	0,75	ZS5	1,50	ZS25
KZ71	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS8 + 1.5 \cdot ZS20$	1,35	ZS2	0,75	ZS8	1,50	ZS20
KZ72	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS8 + 1.5 \cdot ZS21$	1,35	ZS2	0,75	ZS8	1,50	ZS21
KZ73	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS8 + 1.5 \cdot ZS24$	1,35	ZS2	0,75	ZS8	1,50	ZS24
KZ74	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS8 + 1.5 \cdot ZS25$	1,35	ZS2	0,75	ZS8	1,50	ZS25
KZ75	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS9 + 1.5 \cdot ZS20$	1,35	ZS2	0,75	ZS9	1,50	ZS20
KZ76	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS9 + 1.5 \cdot ZS21$	1,35	ZS2	0,75	ZS9	1,50	ZS21
KZ77	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS9 + 1.5 \cdot ZS24$	1,35	ZS2	0,75	ZS9	1,50	ZS24
KZ78	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS9 + 1.5 \cdot ZS25$	1,35	ZS2	0,75	ZS9	1,50	ZS25
KZ79	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS14 + 1.5 \cdot ZS20$	1,35	ZS2	0,75	ZS14	1,50	ZS20
KZ80	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS14 + 1.5 \cdot ZS21$	1,35	ZS2	0,75	ZS14	1,50	ZS21
KZ81	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS14 + 1.5 \cdot ZS24$	1,35	ZS2	0,75	ZS14	1,50	ZS24
KZ82	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS14 + 1.5 \cdot ZS25$	1,35	ZS2	0,75	ZS14	1,50	ZS25
KZ83	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS15 + 1.5 \cdot ZS20$	1,35	ZS2	0,75	ZS15	1,50	ZS20
KZ84	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS15 + 1.5 \cdot ZS21$	1,35	ZS2	0,75	ZS15	1,50	ZS21
KZ85	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS15 + 1.5 \cdot ZS24$	1,35	ZS2	0,75	ZS15	1,50	ZS24
KZ86	MSÚ	$1.35 \cdot ZS2 + 0.75 \cdot ZS15 + 1.5 \cdot ZS25$	1,35	ZS2	0,75	ZS15	1,50	ZS25
KZ87	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 0.75 \cdot ZS6 + 1.5 \cdot ZS22$	1,35	ZS3	0,75	ZS6	1,50	ZS22
KZ88	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 0.75 \cdot ZS6 + 1.5 \cdot ZS26$	1,35	ZS3	0,75	ZS6	1,50	ZS26
KZ89	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 0.75 \cdot ZS10 + 1.5 \cdot ZS22$	1,35	ZS3	0,75	ZS10	1,50	ZS22
KZ90	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 0.75 \cdot ZS10 + 1.5 \cdot ZS26$	1,35	ZS3	0,75	ZS10	1,50	ZS26
KZ91	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 0.75 \cdot ZS11 + 1.5 \cdot ZS22$	1,35	ZS3	0,75	ZS11	1,50	ZS22
KZ92	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 0.75 \cdot ZS11 + 1.5 \cdot ZS26$	1,35	ZS3	0,75	ZS11	1,50	ZS26
KZ93	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 0.75 \cdot ZS16 + 1.5 \cdot ZS22$	1,35	ZS3	0,75	ZS16	1,50	ZS22
KZ94	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 0.75 \cdot ZS16 + 1.5 \cdot ZS26$	1,35	ZS3	0,75	ZS16	1,50	ZS26
KZ95	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 0.75 \cdot ZS17 + 1.5 \cdot ZS22$	1,35	ZS3	0,75	ZS17	1,50	ZS22
KZ96	MSÚ	$1.35 \cdot ZS3 + 0.75 \cdot ZS17 + 1.5 \cdot ZS26$	1,35	ZS3	0,75	ZS17	1,50	ZS26
KZ97	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 0.75 \cdot ZS7 + 1.5 \cdot ZS23$	1,35	ZS4	0,75	ZS7	1,50	ZS23
KZ98	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 0.75 \cdot ZS7 + 1.5 \cdot ZS27$	1,35	ZS4	0,75	ZS7	1,50	ZS27
KZ99	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 0.75 \cdot ZS12 + 1.5 \cdot ZS23$	1,35	ZS4	0,75	ZS12	1,50	ZS23
KZ100	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 0.75 \cdot ZS12 + 1.5 \cdot ZS27$	1,35	ZS4	0,75	ZS12	1,50	ZS27
KZ101	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 0.75 \cdot ZS13 + 1.5 \cdot ZS23$	1,35	ZS4	0,75	ZS13	1,50	ZS23

KZ102	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 0.75 \cdot ZS13 + 1.5 \cdot ZS27$	1,35	ZS4	0,75	ZS13	1,50	ZS27
KZ103	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 0.75 \cdot ZS18 + 1.5 \cdot ZS23$	1,35	ZS4	0,75	ZS18	1,50	ZS23
KZ104	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 0.75 \cdot ZS18 + 1.5 \cdot ZS27$	1,35	ZS4	0,75	ZS18	1,50	ZS27
KZ105	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 0.75 \cdot ZS19 + 1.5 \cdot ZS23$	1,35	ZS4	0,75	ZS19	1,50	ZS23
KZ106	MSÚ	$1.35 \cdot ZS4 + 0.75 \cdot ZS19 + 1.5 \cdot ZS27$	1,35	ZS4	0,75	ZS19	1,50	ZS27

2.3.2 Kombinace pro MSP

Kombin. zatížení	Kombinace zatížení		ZS.1		ZS.2		ZS.3	
		Označení	Faktor	Č.	Faktor	Č.	Faktor	Č.
KZ107	MSP	ZS2	1,00	ZS2				
KZ108	MSP	ZS3	1,00	ZS3				
KZ109	MSP	ZS4	1,00	ZS4				
KZ110	MSP	ZS2 + ZS5	1,00	ZS2	1,00	ZS5		
KZ111	MSP	ZS2 + ZS8	1,00	ZS2	1,00	ZS8		
KZ112	MSP	ZS2 + ZS9	1,00	ZS2	1,00	ZS9		
KZ113	MSP	ZS2 + ZS14	1,00	ZS2	1,00	ZS14		
KZ114	MSP	ZS2 + ZS15	1,00	ZS2	1,00	ZS15		
KZ115	MSP	ZS3 + ZS6	1,00	ZS3	1,00	ZS6		
KZ116	MSP	ZS3 + ZS10	1,00	ZS3	1,00	ZS10		
KZ117	MSP	ZS3 + ZS11	1,00	ZS3	1,00	ZS11		
KZ118	MSP	ZS3 + ZS16	1,00	ZS3	1,00	ZS16		
KZ119	MSP	ZS3 + ZS17	1,00	ZS3	1,00	ZS17		
KZ120	MSP	ZS4 + ZS7	1,00	ZS4	1,00	ZS7		
KZ121	MSP	ZS4 + ZS12	1,00	ZS4	1,00	ZS12		
KZ122	MSP	ZS4 + ZS13	1,00	ZS4	1,00	ZS13		
KZ123	MSP	ZS4 + ZS18	1,00	ZS4	1,00	ZS18		
KZ124	MSP	ZS4 + ZS19	1,00	ZS4	1,00	ZS19		
KZ125	MSP	$ZS2 + ZS5 + 0.6 \cdot ZS20$	1,00	ZS2	1,00	ZS5	0,60	ZS20
KZ126	MSP	$ZS2 + ZS5 + 0.6 \cdot ZS21$	1,00	ZS2	1,00	ZS5	0,60	ZS21
KZ127	MSP	$ZS2 + ZS5 + 0.6 \cdot ZS24$	1,00	ZS2	1,00	ZS5	0,60	ZS24
KZ128	MSP	$ZS2 + ZS5 + 0.6 \cdot ZS25$	1,00	ZS2	1,00	ZS5	0,60	ZS25
KZ129	MSP	$ZS2 + ZS8 + 0.6 \cdot ZS20$	1,00	ZS2	1,00	ZS8	0,60	ZS20
KZ130	MSP	$ZS2 + ZS8 + 0.6 \cdot ZS21$	1,00	ZS2	1,00	ZS8	0,60	ZS21
KZ131	MSP	$ZS2 + ZS8 + 0.6 \cdot ZS24$	1,00	ZS2	1,00	ZS8	0,60	ZS24
KZ132	MSP	$ZS2 + ZS8 + 0.6 \cdot ZS25$	1,00	ZS2	1,00	ZS8	0,60	ZS25
KZ133	MSP	$ZS2 + ZS9 + 0.6 \cdot ZS20$	1,00	ZS2	1,00	ZS9	0,60	ZS20
KZ134	MSP	$ZS2 + ZS9 + 0.6 \cdot ZS21$	1,00	ZS2	1,00	ZS9	0,60	ZS21
KZ135	MSP	$ZS2 + ZS9 + 0.6 \cdot ZS24$	1,00	ZS2	1,00	ZS9	0,60	ZS24
KZ136	MSP	$ZS2 + ZS9 + 0.6 \cdot ZS25$	1,00	ZS2	1,00	ZS9	0,60	ZS25
KZ137	MSP	$ZS2 + ZS14 + 0.6 \cdot ZS20$	1,00	ZS2	1,00	ZS14	0,60	ZS20

KZ138	MSP	ZS2 + ZS14 + 0.6*ZS21	1,00	ZS2	1,00	ZS14	0,60	ZS21
KZ139	MSP	ZS2 + ZS14 + 0.6*ZS24	1,00	ZS2	1,00	ZS14	0,60	ZS24
KZ140	MSP	ZS2 + ZS14 + 0.6*ZS25	1,00	ZS2	1,00	ZS14	0,60	ZS25
KZ141	MSP	ZS2 + ZS15 + 0.6*ZS20	1,00	ZS2	1,00	ZS15	0,60	ZS20
KZ142	MSP	ZS2 + ZS15 + 0.6*ZS21	1,00	ZS2	1,00	ZS15	0,60	ZS21
KZ143	MSP	ZS2 + ZS15 + 0.6*ZS24	1,00	ZS2	1,00	ZS15	0,60	ZS24
KZ144	MSP	ZS2 + ZS15 + 0.6*ZS25	1,00	ZS2	1,00	ZS15	0,60	ZS25
KZ145	MSP	ZS3 + ZS6 + 0.6*ZS22	1,00	ZS3	1,00	ZS6	0,60	ZS22
KZ146	MSP	ZS3 + ZS6 + 0.6*ZS26	1,00	ZS3	1,00	ZS6	0,60	ZS26
KZ147	MSP	ZS3 + ZS10 + 0.6*ZS22	1,00	ZS3	1,00	ZS10	0,60	ZS22
KZ148	MSP	ZS3 + ZS10 + 0.6*ZS26	1,00	ZS3	1,00	ZS10	0,60	ZS26
KZ149	MSP	ZS3 + ZS11 + 0.6*ZS22	1,00	ZS3	1,00	ZS11	0,60	ZS22
KZ150	MSP	ZS3 + ZS11 + 0.6*ZS26	1,00	ZS3	1,00	ZS11	0,60	ZS26
KZ151	MSP	ZS3 + ZS16 + 0.6*ZS22	1,00	ZS3	1,00	ZS16	0,60	ZS22
KZ152	MSP	ZS3 + ZS16 + 0.6*ZS26	1,00	ZS3	1,00	ZS16	0,60	ZS26
KZ153	MSP	ZS3 + ZS17 + 0.6*ZS22	1,00	ZS3	1,00	ZS17	0,60	ZS22
KZ154	MSP	ZS3 + ZS17 + 0.6*ZS26	1,00	ZS3	1,00	ZS17	0,60	ZS26
KZ155	MSP	ZS4 + ZS7 + 0.6*ZS23	1,00	ZS4	1,00	ZS7	0,60	ZS23
KZ156	MSP	ZS4 + ZS7 + 0.6*ZS27	1,00	ZS4	1,00	ZS7	0,60	ZS27
KZ157	MSP	ZS4 + ZS12 + 0.6*ZS23	1,00	ZS4	1,00	ZS12	0,60	ZS23
KZ158	MSP	ZS4 + ZS12 + 0.6*ZS27	1,00	ZS4	1,00	ZS12	0,60	ZS27
KZ159	MSP	ZS4 + ZS13 + 0.6*ZS23	1,00	ZS4	1,00	ZS13	0,60	ZS23
KZ160	MSP	ZS4 + ZS13 + 0.6*ZS27	1,00	ZS4	1,00	ZS13	0,60	ZS27
KZ161	MSP	ZS4 + ZS18 + 0.6*ZS23	1,00	ZS4	1,00	ZS18	0,60	ZS23
KZ162	MSP	ZS4 + ZS18 + 0.6*ZS27	1,00	ZS4	1,00	ZS18	0,60	ZS27
KZ163	MSP	ZS4 + ZS19 + 0.6*ZS23	1,00	ZS4	1,00	ZS19	0,60	ZS23
KZ164	MSP	ZS4 + ZS19 + 0.6*ZS27	1,00	ZS4	1,00	ZS19	0,60	ZS27
KZ165	MSP	ZS2 + ZS20	1,00	ZS2	1,00	ZS20		
KZ166	MSP	ZS2 + ZS21	1,00	ZS2	1,00	ZS21		
KZ167	MSP	ZS2 + ZS24	1,00	ZS2	1,00	ZS24		
KZ168	MSP	ZS2 + ZS25	1,00	ZS2	1,00	ZS25		
KZ169	MSP	ZS3 + ZS22	1,00	ZS3	1,00	ZS22		
KZ170	MSP	ZS3 + ZS26	1,00	ZS3	1,00	ZS26		
KZ171	MSP	ZS4 + ZS23	1,00	ZS4	1,00	ZS23		
KZ172	MSP	ZS4 + ZS27	1,00	ZS4	1,00	ZS27		
KZ173	MSP	ZS2 + 0.5*ZS5 + ZS20	1,00	ZS2	0,50	ZS5	1,00	ZS20
KZ174	MSP	ZS2 + 0.5*ZS5 + ZS21	1,00	ZS2	0,50	ZS5	1,00	ZS21
KZ175	MSP	ZS2 + 0.5*ZS5 + ZS24	1,00	ZS2	0,50	ZS5	1,00	ZS24
KZ176	MSP	ZS2 + 0.5*ZS5 + ZS25	1,00	ZS2	0,50	ZS5	1,00	ZS25
KZ177	MSP	ZS2 + 0.5*ZS8 + ZS20	1,00	ZS2	0,50	ZS8	1,00	ZS20
KZ178	MSP	ZS2 + 0.5*ZS8 + ZS21	1,00	ZS2	0,50	ZS8	1,00	ZS21

KZ179	MSP	$ZS2 + 0.5 \cdot ZS8 + ZS24$	1,00	ZS2	0,50	ZS8	1,00	ZS24
KZ180	MSP	$ZS2 + 0.5 \cdot ZS8 + ZS25$	1,00	ZS2	0,50	ZS8	1,00	ZS25
KZ181	MSP	$ZS2 + 0.5 \cdot ZS9 + ZS20$	1,00	ZS2	0,50	ZS9	1,00	ZS20
KZ182	MSP	$ZS2 + 0.5 \cdot ZS9 + ZS21$	1,00	ZS2	0,50	ZS9	1,00	ZS21
KZ183	MSP	$ZS2 + 0.5 \cdot ZS9 + ZS24$	1,00	ZS2	0,50	ZS9	1,00	ZS24
KZ184	MSP	$ZS2 + 0.5 \cdot ZS9 + ZS25$	1,00	ZS2	0,50	ZS9	1,00	ZS25
KZ185	MSP	$ZS2 + 0.5 \cdot ZS14 + ZS20$	1,00	ZS2	0,50	ZS14	1,00	ZS20
KZ186	MSP	$ZS2 + 0.5 \cdot ZS14 + ZS21$	1,00	ZS2	0,50	ZS14	1,00	ZS21
KZ187	MSP	$ZS2 + 0.5 \cdot ZS14 + ZS24$	1,00	ZS2	0,50	ZS14	1,00	ZS24
KZ188	MSP	$ZS2 + 0.5 \cdot ZS14 + ZS25$	1,00	ZS2	0,50	ZS14	1,00	ZS25
KZ189	MSP	$ZS2 + 0.5 \cdot ZS15 + ZS20$	1,00	ZS2	0,50	ZS15	1,00	ZS20
KZ190	MSP	$ZS2 + 0.5 \cdot ZS15 + ZS21$	1,00	ZS2	0,50	ZS15	1,00	ZS21
KZ191	MSP	$ZS2 + 0.5 \cdot ZS15 + ZS24$	1,00	ZS2	0,50	ZS15	1,00	ZS24
KZ192	MSP	$ZS2 + 0.5 \cdot ZS15 + ZS25$	1,00	ZS2	0,50	ZS15	1,00	ZS25
KZ193	MSP	$ZS3 + 0.5 \cdot ZS6 + ZS22$	1,00	ZS3	0,50	ZS6	1,00	ZS22
KZ194	MSP	$ZS3 + 0.5 \cdot ZS6 + ZS26$	1,00	ZS3	0,50	ZS6	1,00	ZS26
KZ195	MSP	$ZS3 + 0.5 \cdot ZS10 + ZS22$	1,00	ZS3	0,50	ZS10	1,00	ZS22
KZ196	MSP	$ZS3 + 0.5 \cdot ZS10 + ZS26$	1,00	ZS3	0,50	ZS10	1,00	ZS26
KZ197	MSP	$ZS3 + 0.5 \cdot ZS11 + ZS22$	1,00	ZS3	0,50	ZS11	1,00	ZS22
KZ198	MSP	$ZS3 + 0.5 \cdot ZS11 + ZS26$	1,00	ZS3	0,50	ZS11	1,00	ZS26
KZ199	MSP	$ZS3 + 0.5 \cdot ZS16 + ZS22$	1,00	ZS3	0,50	ZS16	1,00	ZS22
KZ200	MSP	$ZS3 + 0.5 \cdot ZS16 + ZS26$	1,00	ZS3	0,50	ZS16	1,00	ZS26
KZ201	MSP	$ZS3 + 0.5 \cdot ZS17 + ZS22$	1,00	ZS3	0,50	ZS17	1,00	ZS22
KZ202	MSP	$ZS3 + 0.5 \cdot ZS17 + ZS26$	1,00	ZS3	0,50	ZS17	1,00	ZS26
KZ203	MSP	$ZS4 + 0.5 \cdot ZS7 + ZS23$	1,00	ZS4	0,50	ZS7	1,00	ZS23
KZ204	MSP	$ZS4 + 0.5 \cdot ZS7 + ZS27$	1,00	ZS4	0,50	ZS7	1,00	ZS27
KZ205	MSP	$ZS4 + 0.5 \cdot ZS12 + ZS23$	1,00	ZS4	0,50	ZS12	1,00	ZS23
KZ206	MSP	$ZS4 + 0.5 \cdot ZS12 + ZS27$	1,00	ZS4	0,50	ZS12	1,00	ZS27
KZ207	MSP	$ZS4 + 0.5 \cdot ZS13 + ZS23$	1,00	ZS4	0,50	ZS13	1,00	ZS23
KZ208	MSP	$ZS4 + 0.5 \cdot ZS13 + ZS27$	1,00	ZS4	0,50	ZS13	1,00	ZS27
KZ209	MSP	$ZS4 + 0.5 \cdot ZS18 + ZS23$	1,00	ZS4	0,50	ZS18	1,00	ZS23
KZ210	MSP	$ZS4 + 0.5 \cdot ZS18 + ZS27$	1,00	ZS4	0,50	ZS18	1,00	ZS27
KZ211	MSP	$ZS4 + 0.5 \cdot ZS19 + ZS23$	1,00	ZS4	0,50	ZS19	1,00	ZS23
KZ212	MSP	$ZS4 + 0.5 \cdot ZS19 + ZS27$	1,00	ZS4	0,50	ZS19	1,00	ZS27

3 Výpočet vnitřních sil

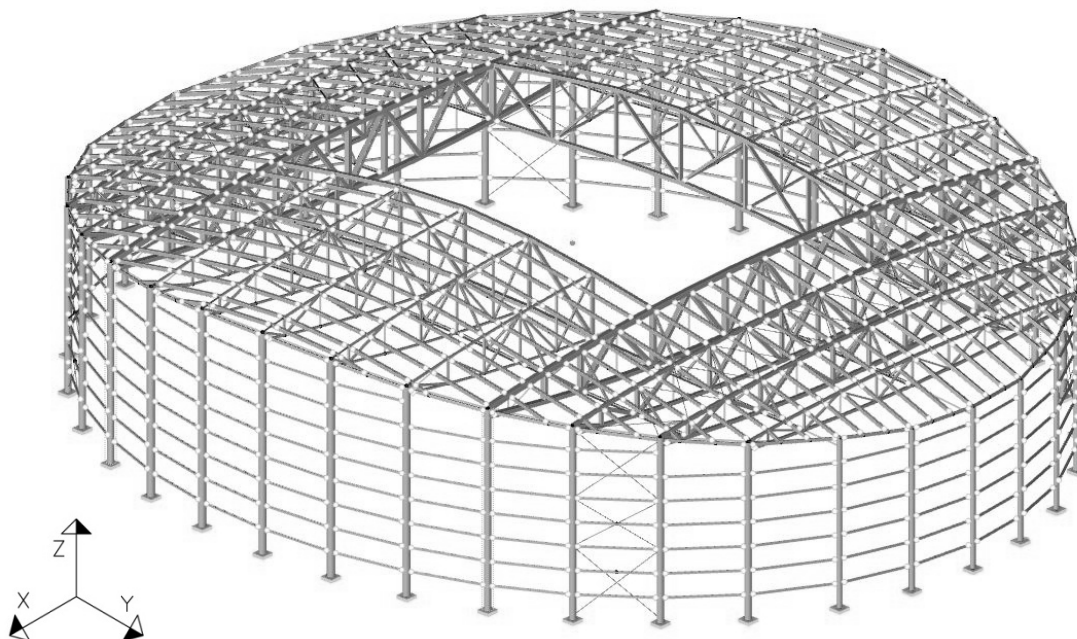
3.1 Výpočtový model

Prostorový prutový model konstrukce byl vytvořen v softwaru Dlubal RSTAB 8.06. Do tohoto modelu bylo zadáno výše vypočítané zatížení, byly vytvořeny lineární kombinace a vypočteny vnitřní síly od zatěžovacích stavů a lineárních kombinací. Výpočet se provedl geometricky lineární analýzou I. řádu.

Horní a dolní pásy všech vazníků jsou modelovány jako nosníky, diagonály jako příhradové prvky přenášející pouze normálové síly. Horní pásy vazníků „C,D a E“ jsou připojeny kloubově (uvolnění φ_y, φ_z) ke sloupu, dolní pásy jsou připojeny kloubově s volným posunem ve směru osy X (uvolnění $\varphi_y, \varphi_z, u_x$). Pásy vazníků „B“ jsou připojeny kloubově (uvolnění φ_y, φ_z) k vazníkům „C“. U vazníků „A“ jsou horní pásy připojeny kloubově (uvolnění φ_y, φ_z), dolní pásy v místě přípoje ke sloupu kloubově s volným posunem ve směru osy X (uvolnění $\varphi_y, \varphi_z, u_x$) a v místě přípoje k vazníku „B“ pouze kloubově (uvolnění φ_y, φ_z). Vaznice jsou modelovány jako nosníky oboustranně kloubově připojené (uvolnění φ_y, φ_z), stejně jsou řešeny i paždíky a prstenec. Sloupy jsou vetknuté. Diagonály podélného ztužidla jsou modelovány jako příhradové prvky a dolní pásy jako nosníky kloubově připojené (uvolnění φ_y, φ_z), příčné ztužidla jako pruty přenášející pouze tah.

Konstrukce je navržena z oceli pevnosti S235 kromě příčných ztužidel, které jsou z oceli S460.

Údaje o modelu a extrémních vnitřních silách lze také najít v příloze: Protokol Dlubal RSTAB.



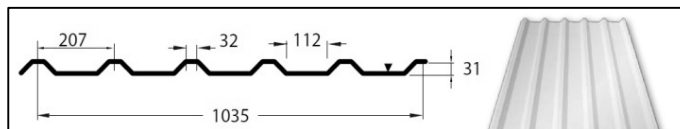
Obrázek 8: Axonometrie konstrukce

4 Návrh a posouzení

4.1 Posouzení mezního stavu únosnosti

4.1.1 Trapézový plech

Navržen ArcelorMittal 32/207 – 1,25



Obrázek 9: Trapézový plech

Vnitřní síly

Plech vypočten zvlášť jako prostý nosník s kombinací sněh+vítr tlak.

	N (kN)	V _y (kN)	V _z (kN)	M _y (kNm)	M _z (kNm)
max	0	/	+ - 1,41	0,787	/

Posudek

- ohyb:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff} * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{7058,7 * 235}{1,0} = 1,66 \text{ kNm}$$

- smyk:

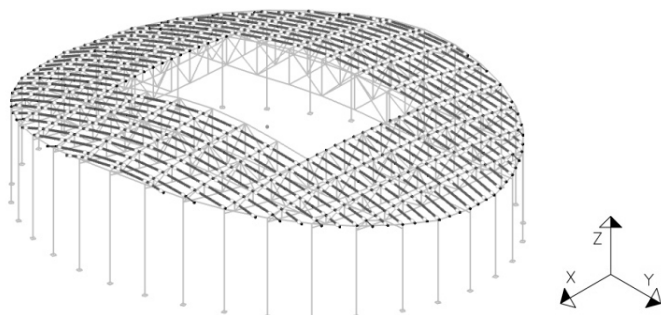
$$V_{pl,Rd} = \frac{s_w * t * f_y}{\gamma_{M0} * \sqrt{3}} = \frac{41 * 1,25 * 235}{\sqrt{3}} = 6,95 \text{ kN}$$

- průhyb: $w = 3,5 \text{ mm} < w_{lim} = L/180 = 1500/180 = 8,3 \text{ mm}$

Vyhovuje

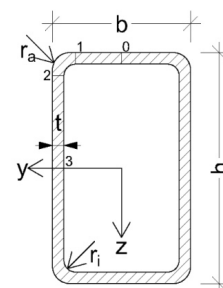
4.1.2 Vaznice

Navržena obdélníková trubka RRO 250x150x6 mm.



Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá výška vnější hrany	h	250,000	mm
Jmenovitá délka vnější hrany	b	150,000	mm
Tloušťka stěny	t	6,000	mm

Vnější poloměr zaoblení	r_a	12,000	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r_i	6,000	mm
Plocha průřezu	A	4560,000	mm ²
Smyková plocha	A_y	1248,500	mm ²
Smyková plocha	A_z	2657,700	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	$A_{v,y}$	1710,000	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	$A_{v,z}$	2850,000	mm ²
Plocha jádra	$A_{jád}$	35066,500	mm ²
Plastická smyková plocha	$A_{pl,y}$	1728,000	mm ²
Plastická smyková plocha	$A_{pl,z}$	2928,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I_y	38860000,000	mm ⁴
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I_z	17680000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i_y	92,300	mm
Poloměr setrvačnosti	i_z	62,300	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i_p	111,400	mm
Objem	V	4560000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	35,800	kg/m
Plocha pláště	$A_{pláš}$	0,780	m ² /m
Součinitel profilu	A_m/V	171,053	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I_t	38860000,000	mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	$I_{\omega v}$	8052000000,000	mm ⁶
Průřezový modul v kroucení	W_t	396000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W_y	311000,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	378000,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z}$	266000,000	mm ³



Vzpěrná délka: $L_{cr,y} = L_{cr,z}$ = délka vaznice

Vnitřní síly

	kombinace	prut	L_{cr} [m]	N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
max. M	KZ14	č. 1640	4,02	-190,8	13,4	4,7	0	23,2
max. V	KZ50	č. 1903	0,84	+3,0	-17,0	-1,0	0	0
max. tlak	KZ49	č. 1625	4,44	-538,2	-3,1	-6,3	0	0
max. tah	KZ14	č. 1930	4,73	+232,6	3,1	5,7	0	7,2
max. komb. N+M	KZ49	č. 1513	4,44	-537,1	-1,2	0	7,2	-5,1

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$d = h - 3t = 250 - 3 \cdot 6 = 232$$

$$\frac{d}{t} = \frac{232}{6} = 38,7 < 72\varepsilon = 72$$

Průřez klasifikován jako třída 1

Posouzení na vzpěr v rovině vaznice

$$i = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (\text{rce 1.01})$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} < 180 \quad (\text{rce 1.02})$$

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot E \cdot I / L_{cr}^2 \quad (\text{rce 1.03})$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{A \cdot f_y / N_{cr}} \quad (\text{rce 1.04})$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \quad (\text{rce 1.05})$$

$$\chi_y = 1 / (\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}) \quad (\text{rce 1.06})$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} \quad (\text{rce 1.07})$$

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} < 1 \quad (\text{rce 1.08})$$

Lcr,y =	4440 mm	E =	210000 MPa
Iy =	3,89E+07 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	4560 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	538,2 kN		

iy =	92,31	(rce 1.01)	Vyhovuje
λy =	48,10 < 200	(rce 1.02)	
Ncr,y =	4081459,08 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,51	(rce 1.04)	
Φ =	0,71	(rce 1.05)	
χ =	0,84	(rce 1.06)	
Nby,Rd =	895,89 kN	(rce 1.07)	Vyhovuje
Ned / Nb,Rd =	0,60 < 1	(rce 1.08)	

Vzpěru z roviny vaznice je zabráněno střešním pláštěm, a proto ho nemusíme posuzovat.

Posouzení na ohyb

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{266000 * 235}{1,0} = 62,5 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{23,2}{62,5} = 0,37 < 1$$

Vyhovuje

Kombinace tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = f_y * A \quad (\text{rce 1.09})$$

$$M_{y,Rk} = f_y * W_{pl,y} \quad (\text{rce 1.10})$$

$$M_{z,Rk} = f_y * W_{pl,z} \quad (\text{rce 1.11})$$

$$M_h = \psi * M_h$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} \quad (\text{rce 1.12})$$

$$C_{my} = C_{mz} = 0,95 + 0,05 * \alpha_h \quad (\text{rce 1.13})$$




$$k_{yy} = C_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \quad (\text{rce 1.14})$$

$$k_{zy} = 0,6 * k_{yy} \quad (\text{rce 1.15})$$

$$C_{my} = C_{mz} = \text{dle průběhu momentu dle Obrázku 10} \quad (\text{rce 1.16})$$

ČSN EN 1993-1-1

Tabulka B.3 – Součinitele C_m ekvivalentního konstantního momentu v tabulkách B.1 a B.2

Průběh momentu	Rozsah	C_{my} a C_{mz} a C_{mLT}	
		rovnoměrné zatížení	soustředěné zatížení
 M to ψM $-1 \leq \psi \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
 M_h to M_s to ψM_h $\alpha_s = M_s / M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
 M_h to M_s to ψM_h $\alpha_h = M_h / M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$

Součinitel ekvivalentního konstantního momentu při vybočení s posuvem styčnic se má uvažovat $C_{my} = 0,9$ nebo $C_{mz} = 0,9$.

C_{my} , C_{mz} a C_{mLT} se mají stanovit v závislosti na průběhu momentu mezi příslušnými body podepření následovně:

Součinitel: osa ohybu: body podepřené ve směru:

C_{my} y-y z-z

C_{mz} z-z y-y

C_{mLT} y-y y-y

Obrázek 10: Součinitele C_m

$$k_{zz} = C_{mz} * \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{mz} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \quad (\text{rce 1.17})$$

$$k_{yz} = 0,6 * k_{zz} \quad (\text{rce 1.18})$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} * M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} * \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1 \quad (\text{rce 1.19})$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} * M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} * \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1 \quad (\text{rce 1.20})$$

Lcr,y =	4440 mm	E =	210000 MPa
Iy =	3,89E+07 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	4560 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	537,1 kN		
iy =	92,31	(rce 1.01)	
λ y=	48,10 < 200	(rce 1.02)	Vyhovuje
Ncr,y =	4081459,08 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,51	(rce 1.04)	
Φ =	0,71	(rce 1.05)	
χ =	0,84	(rce 1.06)	
Nby,Rd =	895,89 kN	(rce 1.07)	
Ned / Nb,Rd =	0,60 < 1	(rce 1.08)	Vyhovuje

Lcr,z =	4440 mm	E =	210000 MPa
Iz =	1,77E+07 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	4560 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	537,1 kN		

iz =	62,27	(rce 1.01)	
λ z =	71,31 < 200	(rce 1.02)	Vyhovuje
Ncr,z =	1856927,34 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,76	(rce 1.04)	
Φ =	0,93	(rce 1.05)	
χ =	0,69	(rce 1.06)	
Nbz,Rd =	736,71 kN	(rce 1.07)	

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}} = 0,73 < 1 \quad (\text{rce 1.08}) \quad \text{Vyhovuje}$$

A =	4560 mm ²	N_{ed} =	537,1 kN
f_y =	235 MPa	M_{y,Ed} =	7,2 kNm
W_{pl,y} =	3,78E+05 mm ³	M_{z,Ed} =	5,1 kNm
W_{pl,z} =	2,66E+05 mm ³		

N_{Rk} =	1071600,00 N	(rce 1.09)
M_{y,Rk} =	88,83 kNm	(rce 1.10)
M_{z,Rk} =	62,51 kNm	(rce 1.11)

M_s =	7,2 kNm	ψM_h =	-5,1
M_h =	0 kNm	M_h =	-4,7
ψ_y =	1,00	ψ_z =	0,92
α_h =	0,00		(rce 1.12)
C_{my} =	0,95		(rce 1.13)
k_{yy} =	1,13 ≤	1,41	(rce 1.14)
k_{yz} =	0,84		(rce 1.15)
C_{mz} =	1,00		(rce 1.16)
k_{zy} =	0,68		(rce 1.17)
k_{zz} =	1,41 ≤	1,58	(rce 1.18)

posouzení 1	0,76 <	1	(rce 1.19)	Vyhovuje
posouzení 2	0,90 <	1	(rce 1.20)	Vyhovuje

Posouzení na smyk

$$A_V = 1710 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{V,y} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{1710 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = 232 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{17}{232} = 0,07 < 0,5$$

Vyhovuje

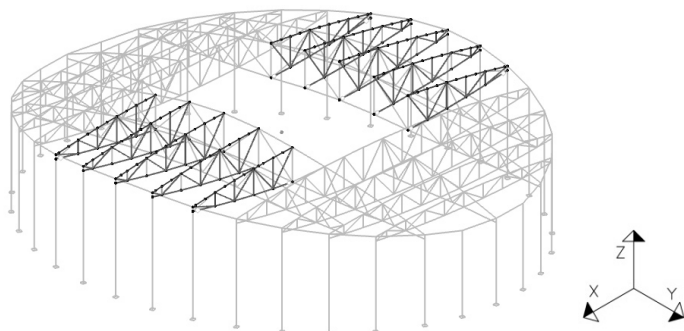
Jestliže smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti, je možné její účinek na únosnost v ohybu zanedbat.

Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4560 * 235}{1,0} = 1071,6 \text{ kN}$$

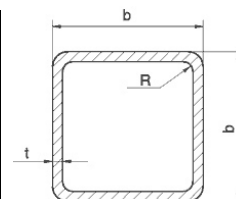
$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{232,6}{1071,6} = 0,22 < 1$$

Vyhovuje

4.1.3 Vazníky „A“**HORNÍ PÁS**

Navržena čtvercová trubka QRO 120x120x7 mm.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá délka vnější hrany	b	120,000	mm
Tloušťka stěny	t	7,000	mm
Vnější poloměr zaoblení	r	17,500	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r _i	10,500	mm
Plocha průřezu	A	3000,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	1341,000	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	A _{v,y}	1500,000	mm ²
Plocha jádra	A _{jád}	12600,800	mm ²
Plastická smyková plocha	A _{pl,y}	1582,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _y	6170000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	45,000	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	63,600	mm
Objem	V	3000000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	23,600	kg/m
Plocha pláště	A _{plášť}	0,450	m ² /m
Součinitel profilu	A _m /V	150,000	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	10390000,000	mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	I _{@v}	11380000,000	mm ⁶
Průřezový modul v kroucení	W _t	176000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _y	103000,000	mm ³
Statický moment	S _{y,max}	31073,600	mm ³



Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	124000,000	mm ³
---------------------------	------------	------------	-----------------

Vzpěrná délka: $L_{cr,y} = L_{cr,z}$

Vnitřní síly

	kombinace	prut	L_{cr} [m]	N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
max. M	KZ50	č. 1230	3,0	-163,3	0	-19,2	18,9	0
max. V	KZ50	č. 1223	3,48	-231,9	-10,3	-21,0	-2,1	0
max. tlak	KZ50	č. 1225	3,48	-238,1	4,4	6,7	7,0	5,1
max. komb. N+M	KZ50	č. 247	3,48	-232,4	5,3	18,9	16,0	-5,3

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$d = h - 3t = 120 - 3 \cdot 7 = 99$$

$$\frac{d}{t} = \frac{99}{7} = 14,14 < 33\varepsilon = 33$$

Průřez klasifikován jako třída 1

Posouzení na vzpěr

Lcr =	3480 mm	E =	210000 MPa
Iy =	6,17E+06 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	3000 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	238,1 kN		

iy =	45,35	(rce 1.01)	
λ =	76,74 < 200	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
Ncr =	1054885,36 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,82	(rce 1.04)	
Φ =	0,99	(rce 1.05)	
χ =	0,65	(rce 1.06)	
Nb,Rd =	459,07 kN	(rce 1.07)	
Ned / Nb,Rd =	0,52 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

Posouzení na ohyb

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{124000 * 235}{1,0} = 29,14 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{18,9}{29,14} = 0,65 < 1$$

Vyhovuje

Kombinace tlaku a ohybu

Lcr =	3480 mm	E =	210000 MPa
Iy =	6,17E+06 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	3000 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	232,4 kN		

iy =	45,35	(rce 1.01)	
λ =	76,74 < 200	(rce 1.02)	Vyhovuje
Ncr =	1054885,36 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,82	(rce 1.04)	
Φ =	0,99	(rce 1.05)	
χ =	0,65	(rce 1.06)	
Nb,Rd =	459,07 kN	(rce 1.07)	
Ned / Nb,Rd =	0,51 < 1	(rce 1.08)	Vyhovuje

A =	3000 mm ²	Ned =	232,4 kN
fy =	235 MPa	My,Ed =	16 kNm
Wpl,y =	1,24E+05 mm ³	Mz,Ed =	5,3 kNm
Wpl,z =	1,24E+05 mm ³		

NRk =	705000,00 N	(rce 1.09)
My,Rk =	29,14 kNm	(rce 1.10)
Mz,Rk =	29,14 kNm	(rce 1.11)

ψMh =	-14 kNm	ψMh =	3,2
Mh =	16 kNm	Mh =	-5,3
ψy =	-0,88	ψz =	-0,6
αh =	-	(rce 1.12)	
Cmy =	0,40	(rce 1.13)	
kyy =	0,53 ≤	0,56	(rce 1.14)

k_{yz} =	0,32	(rce 1.15)
C_{mz} =	0,40	(rce 1.16)
k_{zy} =	0,32	(rce 1.17)
k_{zz} =	0,53 ≤ 0,56	(rce 1.18)

posouzení 1	0,85 < 1	(rce 1.19)	<i>Vyhovuje</i>
posouzení 2	0,77 < 1	(rce 1.20)	<i>Vyhovuje</i>

Posouzení na smyk

$$A_V = 1500 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{1500 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = 203,5 \text{ kN}$$

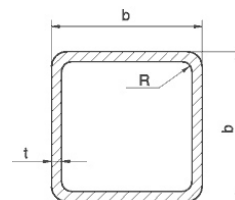
$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{21}{203,5} = 0,1 < 0,5$$

Jestliže smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti, je možné její účinek na únosnost v ohybu zanedbat.

DOLNÍ PÁS

Navržena čtvercová trubka QRO 120x120x4 mm.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá délka vnější hrany	b	120,000	mm
Tloušťka stěny	t	4,000	mm
Vnější poloměr zaoblení	r	8,000	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r _i	4,000	mm
Plocha průřezu	A	1810,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	780,300	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	A _{v,y}	905,000	mm ²
Plocha jádra	A _{jád}	13425,100	mm ²
Plastická smyková plocha	A _{pl,y}	928,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _y	4020000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	47,100	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	66,600	mm
Objem	V	1810000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	14,200	kg/m
Plocha pláště	A _{plášť}	0,470	m ² /m
Součinitel profilu	A _m /V	259,669	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	6370000,000	mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	I _{@v}	2395990,000	mm ⁶



Průřezový modul v kroucení	W_t	101000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W_y	67000,000	mm ³
Statický moment	$S_{y,max}$	19581,700	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	78300,000	mm ³

Vnitřní síly

	kombinace	prut	Lcr [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
max. M	KZ50	č. 275	3,0	+187,8	0	-2,0	3,1	0
max. V	KZ50	č. 276	1,47	0	0	2,3	0	0
max. tah	KZ50	č. 255	3,0	+234,1	0	0	1,3	0
max. tlak	KZ61	č. 336	Lcr,y=3,0 Lcr,z=9,0	-25,6	0	-1,0	-1,0	0

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$d = h - 3t = 120 - 3 * 4 = 108$$

$$\frac{d}{t} = \frac{108}{4} = 27 < 33\varepsilon = 33$$

Průřez klasifikován jako třída 1

Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1810 * 235}{1,0} = 425,4 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{234,1}{425,4} = 0,55 < 1$$

Vyhovuje

Kombinace tahu a ohybu

$$M_{N,y,Rd} = \frac{M_{pl,y,Rd}(1-n)}{1-0,5a_w} = \frac{78300 * 235 * (1-0,55)}{1-0,5 * 0,469} = 10,82 \leq M_{pl,y,Rd} = 18,4 \text{ kNm} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$a_w = \frac{A - 2bt}{A} = \frac{1810 - 2 * 120 * 4}{1810} = 0,469 \leq 0,5$$

Vyhovuje

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0,55$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,y,Rd}} = \frac{1,3}{10,82} = 0,12$$

Vyhovuje

Posouzení na vzpěr

Lcr,y =	3000 mm	E =	210000 MPa
Iy =	4,02E+06 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	1810 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	25,6 kN		

iy =	47,13	(rce 1.01)	
λy =	63,66 < 200	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
Ncr,y =	924830,48 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,68	(rce 1.04)	
Φ =	0,85	(rce 1.05)	
χ =	0,74	(rce 1.06)	
Nby,Rd =	313,97 kN	(rce 1.07)	
Ned / Nb,Rd =	0,08 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

Lcr,z =	9000 mm	E =	210000 MPa
Iz =	4,02E+06 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	1810 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	25,6 kN		

iz =	47,13	(rce 1.01)	
λz =	190,97 < 200	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
Ncr,z =	102758,94 N	(rce 1.03)	
λ' =	2,03	(rce 1.04)	
Φ =	3,02	(rce 1.05)	
χ =	0,19	(rce 1.06)	
Nbz,Rd =	81,02 kN	(rce 1.07)	
Ned / Nb,Rd =	0,32 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

Posouzení na smyk

$$A_V = 905 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{905 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = 122,8 \text{ kN}$$

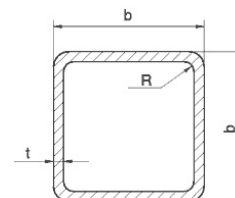
$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{2,3}{122,8} = 0,02 < 0,5$$

Jestliže smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti, je možné její účinek na únosnost v ohybu zanedbat.

DIAGONÁLY

Navržena čtvercová trubka QRO 120x120x4 mm.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá délka vnější hrany	b	120,000	mm
Tloušťka stěny	t	4,000	mm
Vnější poloměr zaoblení	r	8,000	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r _i	4,000	mm
Plocha průřezu	A	1810,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	780,300	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	A _{v,y}	905,000	mm ²
Plocha jádra	A _{jád}	13425,100	mm ²
Plastická smyková plocha	A _{pl,y}	928,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _y	4020000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	47,100	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	66,600	mm
Objem	V	1810000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	14,200	kg/m
Plocha pláště	A _{plášť}	0,470	m ² /m
Součinitel profilu	A _m /V	259,669	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	6370000,000	mm ⁴
Výšečový moment setrvačnosti	I _{ev}	2395990,000	mm ⁶
Průřezový modul v kroucení	W _t	101000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _y	67000,000	mm ³
Statický moment	S _{y,max}	19581,700	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	78300,000	mm ³



Vzpěrná délka: L_{cr,y} = L_{cr,z}

Vnitřní síly

	kombinace	prut	L _{cr} [m]	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
max. tah	KZ50	č. 257	3,6	+242,7				
max. tlak	KZ50	č. 260	4,46	-176,0				

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$d = h - 3t = 120 - 3 \cdot 4 = 108$$

$$\frac{d}{t} = \frac{108}{4} = 27 < 33\varepsilon = 33$$

Průřez klasifikován jako třída 1

Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1810 \cdot 235}{1,0} = 425,4 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{242,7}{425,4} = 0,57 < 1$$

Vyhovuje

Posouzení na vzpěr

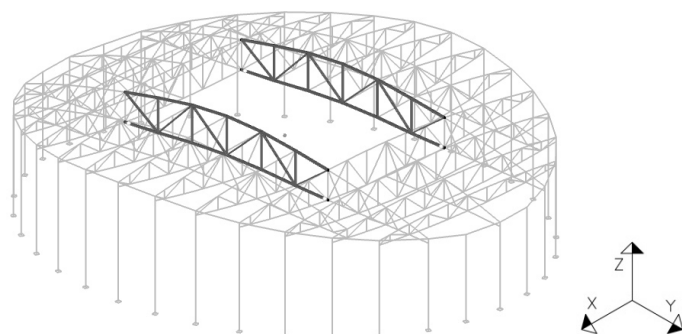
Lcr =	4460 mm	E =	210000 MPa
Iy =	4,02E+06 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	1810 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	176 kN		

iy =	47,13	(rce 1.01)
λ =	94,64 < 200	(rce 1.02)
Ncr =	418441,67 N	(rce 1.03)
λ' =	1,01	(rce 1.04)
Φ =	1,21	(rce 1.05)
χ =	0,54	(rce 1.06)
Nb,Rd =	227,64 kN	(rce 1.07)
Ned / Nb,Rd =	0,77 < 1	(rce 1.08)

Vyhovuje

Vyhovuje

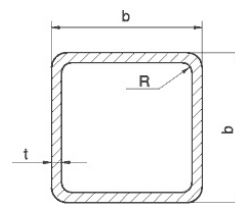
4.1.4 Vazník „B“



HORNÍ PÁS

Navržena čtvercová trubka QRO 250x250x6 mm.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá délka vnější hrany	b	250,000	mm
Tloušťka stěny	t	6,000	mm
Vnější poloměr zaoblení	r	12,000	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r _i	6,000	mm
Plocha průřezu	A	5760,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	2456,100	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	A _{v,y}	2880,000	mm ²
Plocha jádra	A _{jád}	59466,500	mm ²
Plastická smyková plocha	A _{ply}	2928,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _y	56720000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	99,200	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	140,300	mm
Objem	V	5760000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	45,200	kg/m
Plocha pláště	A _{pláš}	0,980	m ² /m
Součinitel profilu	A _m /V	170,139	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	88430000,000	mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	I _{@v}	84420000,000	mm ⁶
Průřezový modul v kroucení	W _t	681000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _y	454000,000	mm ³
Statický moment	S _{y,max}	131112,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{ply}	524000,000	mm ³



Vzpěrná délka: L_{cr,y} = L_{cr,z}

Vnitřní síly

	kombinace	prut	L _{cr} [m]	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
max. M	KZ49	č. 2256	4,74	-610,6	1,4	2,4	27,7	2,4
max. V	KZ49	č. 2246	4,74	-605,3	0	-27,5	-22,2	6,4
max. tlak	KZ14	č. 2262	4,96	-810,7	0	-24,6	-20,6	3,8
max. komb. N+M	KZ14	č. 2252	4,96	-810,2	0	-24,6	-20,65	5,0

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$d = h - 3t = 250 - 3 \cdot 6 = 232$$

$$\frac{d}{t} = \frac{232}{6} = 39 < 42\varepsilon = 42$$

Průřez klasifikován jako třída 3

Posouzení na vzpěr

Lcr =	4960 mm	E =	210000 MPa
Iy =	5,67E+07 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	5760 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	810,7 kN		

iy =	99,23	(rce 1.01)	
λ =	49,98 < 200	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
Ncr =	4773659,74 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,53	(rce 1.04)	
Φ =	0,72	(rce 1.05)	
χ =	0,82	(rce 1.06)	
Nb,Rd =	1116,23 kN	(rce 1.07)	
Ned / Nb,Rd =	0,73 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

Posouzení na ohyb

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{454000 * 235}{1,0} = 106,7 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{27,7}{106,7} = 0,26 < 1$$

Vyhovuje

Kombinace tlaku a ohybu

Lcr =	4960 mm	E =	210000 MPa
Iy =	5,67E+07 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	5760 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	810,2 kN		

iy =	99,23	(rce 1.01)	
λ =	49,98 < 200	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
Ncr =	4773659,74 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,53	(rce 1.04)	
Φ =	0,72	(rce 1.05)	
χ =	0,82	(rce 1.06)	
Nb,Rd =	1116,23 kN	(rce 1.07)	

$$N_{ed} / N_{b,Rd} = 0,73 < 1 \quad (\text{rce 1.08}) \quad \text{Vyhovuje}$$

A =	5760 mm ²	N_{ed} =	810,2 kN
f_y =	235 MPa	M_{y,Ed} =	20,7 kNm
W_{pl,y} =	4,54E+05 mm ³	M_{z,Ed} =	5 kNm
W_{pl,z} =	4,54E+05 mm ³		

N_{Rk} =	1353600,00 N	(rce 1.09)
M_{y,Rk} =	106,69 kNm	(rce 1.10)
M_{z,Rk} =	106,69 kNm	(rce 1.11)

ψM_h =	18,4 kNm	ψM_h =	4,87
M_h =	-20,7 kNm	M_h =	5
ψ_y =	-0,88	ψ_z =	0,974
α_h =	-		(rce 1.12)
C_{my} =	0,40		(rce 1.13)
k_{yy} =	0,50 ≤	0,63	(rce 1.14)
k_{yz} =	0,73		(rce 1.15)
C_{mz} =	1,00		(rce 1.16)
k_{zy} =	0,30		(rce 1.17)
k_{zz} =	1,22 ≤	1,57	(rce 1.18)

posouzení 1	0,86 <	1	(rce 1.19)	Vyhovuje
posouzení 2	0,83 <	1	(rce 1.20)	Vyhovuje

Posouzení na smyk

$$A_V = 2880 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{2880 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = 390,75 \text{ kN}$$

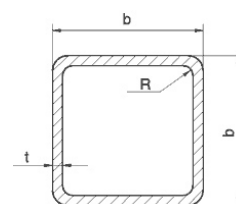
$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{27,5}{390,75} = 0,07 < 0,5$$

Jestliže smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti, je možné její účinek na únosnost v ohybu zanedbat.

DOLNÍ PÁS

Navržena čtvercová trubka QRO 250x250x5 mm.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá délka vnější hrany	b	250,000	mm
Tloušťka stěny	s	5,000	mm
Vnější rohové zaoblení	r	10,000	mm
Plocha průřezu	A	4840,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	2052,900	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	A _{v,y}	2420,000	mm ²
Plocha jádra	A _{jád}	59976,700	mm ²
Plastická smyková plocha	A _{pl,y}	2450,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _y	48050000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	99,700	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	141,000	mm
Objem	V	4840000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	38,000	kg/m
Plocha pláště	A _{pláš}	0,983	m ² /m
Součinitel profilu	A _m /V	203,099	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	74430000,000	mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	I _{ev}	51860000,000	mm ⁶
Průřezový modul v kroucení	W _t	577000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _y	384000,000	mm ³
Statický moment	S _{y,max}	110566,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	442000,000	mm ³



Vnitřní síly

	kombinace	prut	Lcr [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
max. M	KZ50	č. 564	4,85	+813,9	2,25	0	5,9	-5,8
max. V	KZ50	č. 564	4,85	+813,9	2,25	0	5,9	-5,8
max. tah	KZ50	č. 564	4,85	+813,9	2,25	0	5,9	-5,8

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$d = h - 3t = 250 - 3 \cdot 5 = 235$$

$$\frac{d}{t} = \frac{235}{5} = 47 < 72\varepsilon = 72$$

Průřez klasifikován jako třída 1

Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4840 * 235}{1,0} = 1137,4 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{813,9}{1137,4} = 0,72 < 1$$

Vyhovuje

Kombinace tahu a ohybu

$$M_{N,y,Rd} \doteq M_{N,z,Rd} = \frac{M_{pl,Rd}(1-n)}{1-0,5a_w} = \frac{442000 * 235 * (1-0,72)}{1-0,5 * 0,483} = 38,34 \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$= 103,87 \text{ kNm} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$a_w = \frac{A - 2bt}{A} = \frac{4840 - 2 * 250 * 5}{4840} = 0,483 \leq 0,5$$

Vyhovuje

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0,72$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,y,Rd}} = \frac{5,9}{38,34} = 0,15$$

Vyhovuje

Posouzení na smyk

$$A_V = 2420 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{2420 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = 328,3 \text{ kN}$$

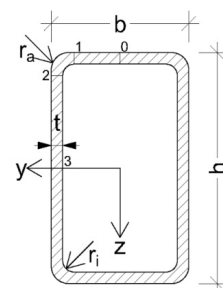
$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{2,25}{328,3} = 0,001 < 0,5$$

Jestliže smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti, je možné její účinek na únosnost v ohybu zanedbat.

DIAGONÁLY

Navržena obdélníková trubka QRO 250x150x4 mm.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá výška vnější hrany	h	250,000	mm
Jmenovitá délka vnější hrany	b	150,000	mm
Tloušťka stěny	t	4,000	mm
Vnější poloměr zaoblení	r _a	8,000	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r _i	4,000	mm
Plocha průřezu	A	3090,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	842,500	mm ²
Smyková plocha	A _z	1783,200	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	A _{v,y}	1158,800	mm ²



Účinná smyková plocha podle EC 3	$A_{v,z}$	1931,300	mm ²
Plocha jádra	$A_{jádr}$	35885,100	mm ²
Plastická smyková plocha	$A_{pl,y}$	1168,000	mm ²
Plastická smyková plocha	$A_{pl,z}$	1968,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I_y	26970000,000	mm ⁴
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I_z	12340000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i_y	93,300	mm
Poloměr setrvačnosti	i_z	63,200	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i_p	112,700	mm
Objem	V	3090000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	24,300	kg/m
Plocha pláště	$A_{plášť}$	0,790	m ² /m
Součinitel profilu	A_m/V	255,663	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I_t	26650000,000	mm ⁴
Výšečový moment setrvačnosti	$I_{@v}$	5540000000,000	mm ⁶
Průřezový modul v kroucení	W_t	275000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W_y	216000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W_z	165000,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	260000,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z}$	183000,000	mm ³

Vzpěrná délka: $L_{cr,y} = L_{cr,z}$

Vnitřní síly

	kombinace	prut	L_{cr} [m]	N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
max. tah	KZ50	č. 569	5,68	+524,1				
max. tlak	KZ50	č. 573	6,75	-227,6				

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$d = h - 3t = 150 - 3 \cdot 4 = 138$$

$$\frac{d}{t} = \frac{138}{4} = 34,5 < 38\varepsilon = 38$$

Průřez klasifikován jako třída 2

Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3090 * 235}{1,0} = 726,15 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{524,1}{726,15} = 0,72 < 1$$

*Vyhovuje***Posouzení na vzpěr**

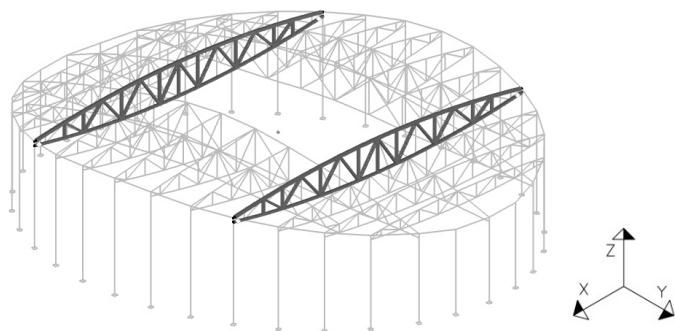
L_{cr,y} =	6750 mm	E =	210000 MPa
I_y =	2,70E+07 mm ⁴	f_y =	235 MPa
A =	3090 mm ²	α =	0,49 křivka c
N_{ed} =	227,6 kN		

i_y =	93,42	(rce 1.01)	
λ_y =	72,25 < 200	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
N_{cr,y} =	1225609,14 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,77	(rce 1.04)	
Φ =	0,94	(rce 1.05)	
χ =	0,68	(rce 1.06)	
N_{by,Rd} =	494,63 kN	(rce 1.07)	
N_{ed} / N_{b,Rd} =	0,46 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

L_{cr,z} =	6750 mm	E =	210000 MPa
I_z =	1,23E+07 mm ⁴	f_y =	235 MPa
A =	3090 mm ²	α =	0,49 křivka c
N_{ed} =	227,6 kN		

i_z =	63,19	(rce 1.01)	
λ_z =	106,81 < 200	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
N_{cr,z} =	560771,85 N	(rce 1.03)	
λ' =	1,14	(rce 1.04)	
Φ =	1,38	(rce 1.05)	
χ =	0,46	(rce 1.06)	
N_{bz,Rd} =	337,26 kN	(rce 1.07)	
N_{ed} / N_{b,Rd} =	0,67 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

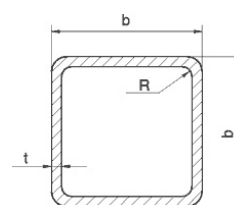
4.1.5 Vazník „C“



HORNÍ PÁS

Navržena čtvercová trubka QRO 350x350x12 mm.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá délka vnější hrany	b	350,000	mm
Tloušťka stěny	s	12,000	mm
Vnější rohové zaoblení	r	36,000	mm
Plocha průřezu	A	15600,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	6849,700	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	A _{v,y}	7800,000	mm ²
Plocha jádra	A _{jád}	113471,000	mm ²
Plastická smyková plocha	A _{pl,y}	8112,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _y	290500000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	136,000	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	192,300	mm
Objem	V	15600000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	122,500	kg/m
Plocha pláště	A _{plášť}	1,340	m ² /m
Součinitel profilu	A _m /V	85,897	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	476000000,000	mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	I _{@v}	3281000000,000	mm ⁶
Průřezový modul v kroucení	W _t	2552000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _y	1660000,000	mm ³
Statický moment	S _{y,max}	487365,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	1949000,000	mm ³



Vzpěrná délka: $L_{cr,y} = L_{cr,z}$

Vnitřní síly

	kombinace	prut	L _{cr} [m]	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
max. M	KZ50	č. 2004	3,0	-373,9	20,9	123,7	300,4	-14,2

max. V	KZ14	č. 1754	1,73	-147,7	-249,6	-42,7	0	0
max. tlak	KZ14	č. 516	3,0	-1127,0	18,3	15,2	27,5	-74,0
max. komb. N+M	KZ14	č. 687	3,0	-1124,4	-58,9	-7,8	50,1	-99,9

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$d = h - 3t = 350 - 3 * 12 = 314$$

$$\frac{d}{t} = \frac{314}{12} = 26 < 33\varepsilon = 33$$

Průřez klasifikován jako třída 1

Posouzení na vzpěr

Lcr =	3000 mm	E =	210000 MPa
Iy =	2,91E+08 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	15600 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	1112,4 kN		

iy =	136,46	(rce 1.01)	
λ =	21,98 < 200	(rce 1.02)	Vyhovuje
Ncr =	66831655,33 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,23	(rce 1.04)	
Φ =	0,54	(rce 1.05)	
χ =	0,98	(rce 1.06)	
Nb,Rd =	3602,18 kN	(rce 1.07)	
Ned / Nb,Rd =	0,31 < 1	(rce 1.08)	Vyhovuje

Posouzení na ohyb

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1949000 * 235}{1,0} = 458,015 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{300,4}{458,015} = 0,66 < 1$$

Vyhovuje

Kombinace tlaku a ohybu

Lcr =	3000 mm	E =	210000 MPa
Iy =	2,91E+08 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	15600 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	373,9 kN		

iy =	136,46	(rce 1.01)	
λ =	21,98 < 200	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
Ncr =	66831655,33 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,23	(rce 1.04)	
Φ =	0,54	(rce 1.05)	
χ =	0,98	(rce 1.06)	
Nb,Rd =	3602,18 kN	(rce 1.07)	
Ned / Nb,Rd =	0,10 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

A =	15600 mm ²	Ned =	373,9 kN
fy =	235 MPa	My,Ed =	300,4 kNm
Wpl,y =	1,95E+06 mm ³	Mz,Ed =	14,2 kNm
Wpl,z =	1,95E+06 mm ³		

NRk =	3666000,00 N	(rce 1.09)
My,Rk =	458,02 kNm	(rce 1.10)
Mz,Rk =	458,02 kNm	(rce 1.11)

ψMh =	110,1 kNm	ψMh =	-14,2
Mh =	300,4 kNm	Mh =	17,3
ψy =	0,37	ψz =	-0,82
αh =	-	(rce 1.12)	
Cmy =	0,75	(rce 1.13)	
kyy =	0,75 ≤ 0,81	(rce 1.14)	
kyz =	0,24	(rce 1.15)	
Cmz =	0,40	(rce 1.16)	
kzy =	0,45	(rce 1.17)	
kzz =	0,40 ≤ 0,43	(rce 1.18)	

posouzení 1	0,60 <	1	(rce 1.19)	<i>Vyhovuje</i>
posouzení 2	0,41 <	1	(rce 1.20)	<i>Vyhovuje</i>

Posouzení na smyk

$$A_V = 7800 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{7800 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = 1058,3 \text{ kN}$$

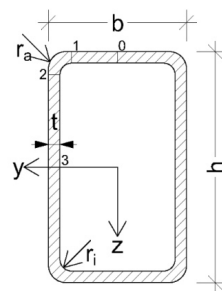
$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{249,6}{1058,3} = 0,24 < 0,5$$

Jestliže smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti, je možné její účinek na únosnost v ohybu zanedbat.

DOLNÍ PÁS

Navržena obdélníková trubka RRO 350x250x6 mm.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá výška vnější hrany	h	350,000	mm
Jmenovitá délka vnější hrany	b	250,000	mm
Tloušťka stěny	s	6,000	mm
Vnější rohové zaoblení	r	12,000	mm
Plocha průřezu	A	6960,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	2242,500	mm ²
Smyková plocha	A _z	3668,000	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	A _{v,y}	2900,000	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	A _{v,z}	4060,000	mm ²
Plocha jádra	A _{jád}	83866,500	mm ²
Plastická smyková plocha	A _{pl,y}	2928,000	mm ²
Plastická smyková plocha	A _{pl,z}	4128,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _y	124600000,000	mm ⁴
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _z	74580000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	134,000	mm
Poloměr setrvačnosti	i _z	103,000	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	169,000	mm
Objem	V	6960000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	54,600	kg/m
Plocha pláště	A _{plášť}	1,180	m ² /m
Součinitel profilu	A _m /V	169,540	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	145500000,000	mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	I _{@v}	30350000000,000	mm ⁶



Průřezový modul v kroucení	W_t	967000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W_y	712000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W_z	597000,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	843000,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z}$	671000,000	mm ³

Vnitřní síly

	kombinace	prut	Lcr [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
max. M	KZ50	č. 534	Lcr,y = 3,0 Lcr,z = 5,35	-5,4	-26,4	-1,5	-6,0	-72,5
max. V	KZ50	č. 534	3,0	-5,5	-28,7	-1,5	-10,4	10,6
max. tlak	KZ50	č. 534	Lcr,y = 3,0 Lcr,z = 5,35	-5,5	-28,7	-1,5	-10,4	10,6
max. tah	KZ14	č. 526	3,0	+945,8	10,9	6,5	22,6	-23,6

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$d = h - 3t = 250 - 3 \cdot 6 = 232$$

$$\frac{d}{t} = \frac{232}{6} = 38 < 38\varepsilon = 38$$

Průřez klasifikován jako třída 2

Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6960 \cdot 235}{1,0} = 1635,6 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{945,8}{1635,6} = 0,58 < 1$$

Vyhovuje

Kombinace tahu a ohybu

$$M_{N,z,Rd} = \frac{M_{pl,z,Rd}(1-n)}{1-0,5a_w} = \frac{712000 \cdot 235 \cdot (1-0,58)}{1-0,5 \cdot 0,4} = 87,8 \leq M_{pl,z,Rd}$$

$$= 167,3 \text{ kNm} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$a_w = \frac{A - 2bt}{A} = \frac{6960 - 2 \cdot 350 \cdot 6}{6960} = 0,4 \leq 0,5$$

Vyhovuje

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0,58$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,z,Rd}} = \frac{23,6}{87,8} = 0,27$$

Vyhovuje

Posouzení na smyk

$$A_V = 4060 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{4060 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = 550,8 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{28,7}{550,8} = 0,05 < 0,5$$

Jestliže smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti, je možné její účinek na únosnost v ohybu zanedbat.

Posouzení na vzpěr

L_{cr,y} =	3000 mm	E =	210000 MPa
I_y =	7,46E+07 mm ⁴	f_y =	235 MPa
A =	6960 mm ²	α =	0,49 křivka c
N_{ed} =	5,5 kN		

i_y =	103,52	(rce 1.01)
λ_y =	28,98 < 200	(rce 1.02)
N_{cr,y} =	17157675,92 N	(rce 1.03)
λ' =	0,31	(rce 1.04)
Φ =	0,57	(rce 1.05)
χ =	0,94	(rce 1.06)
N_{by,Rd} =	1545,11 kN	(rce 1.07)
N_{ed} / N_{b,Rd} =	0,00 < 1	(rce 1.08)

Vyhovuje

Vyhovuje

L_{cr,z} =	5350 mm	E =	210000 MPa
I_z =	1,25E+08 mm ⁴	f_y =	235 MPa
A =	6960 mm ²	α =	0,49 křivka c
N_{ed} =	5,5 kN		

i_z =	133,80	(rce 1.01)
λ_z =	39,99 < 200	(rce 1.02)
N_{cr,z} =	9013408,81 N	(rce 1.03)
λ' =	0,43	(rce 1.04)

Vyhovuje

$\Phi =$	0,65	(rce 1.05)	
$\chi =$	0,88	(rce 1.06)	
$N_{b,z,Rd} =$	1445,04 kN	(rce 1.07)	
$N_{ed} / N_{b,Rd} =$	0,00 < 1	(rce 1.08)	Vyhovuje

Posouzení na ohyb

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{712000 * 235}{1,0} = 167,3 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{72,5}{167,3} = 0,43 < 1$$

Vyhovuje

Kombinace tlaku a ohybu

$L_{cr,y} =$	3000 mm	$E =$	210000 MPa
$I_y =$	7,46E+07 mm ⁴	$f_y =$	235 MPa
$A =$	6960 mm ²	$\alpha =$	0,49 křivka c
$N_{ed} =$	5,4 kN		

$i_y =$	103,52	(rce 1.01)	
$\lambda_y =$	28,98 < 200	(rce 1.02)	Vyhovuje
$N_{cr,y} =$	17157675,92 N	(rce 1.03)	
$\lambda' =$	0,31	(rce 1.04)	
$\Phi =$	0,57	(rce 1.05)	
$\chi =$	0,94	(rce 1.06)	
$N_{b,y,Rd} =$	1545,11 kN	(rce 1.07)	
$N_{ed} / N_{b,Rd} =$	0,00 < 1	(rce 1.08)	Vyhovuje

$L_{cr,z} =$	5350 mm	$E =$	210000 MPa
$I_z =$	1,25E+08 mm ⁴	$f_y =$	235 MPa
$A =$	6960 mm ²	$\alpha =$	0,49 křivka c
$N_{ed} =$	5,4 kN		

$i_z =$	133,80	(rce 1.01)	
$\lambda_z =$	39,99 < 200	(rce 1.02)	Vyhovuje
$N_{cr,z} =$	9013408,81 N	(rce 1.03)	
$\lambda' =$	0,43	(rce 1.04)	

$\Phi =$	0,65	(rce 1.05)
$\chi =$	0,88	(rce 1.06)
$N_{b,z,Rd} =$	1445,04 kN	(rce 1.07)
$N_{ed} / N_{b,Rd} =$	0,00 < 1	(rce 1.08) <i>Vyhovuje</i>

$A =$	6960 mm ²	$N_{ed} =$	5,4 kN
$f_y =$	235 MPa	$M_{y,Ed} =$	6 kNm
$W_{pl,y} =$	5,97E+05 mm ³	$M_{z,Ed} =$	72,5 kNm
$W_{pl,z} =$	7,12E+05 mm ³		

$N_{Rk} =$	1635600,00 N	(rce 1.09)
$M_{y,Rk} =$	140,30 kNm	(rce 1.10)
$M_{z,Rk} =$	167,32 kNm	(rce 1.11)

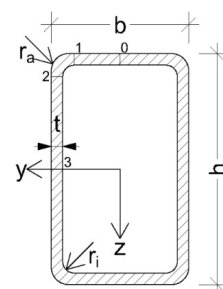
$\psi M_h =$	-10,4 kNm	$\psi M_h =$	10,6
$M_h =$	-6 kNm	$M_h =$	-72,5
$\psi_y =$	0,58	$\psi_z =$	-0,15
$\alpha_h =$	-		(rce 1.12)
$C_{my} =$	0,83		(rce 1.13)
$k_{yy} =$	0,83 ≤	0,83	(rce 1.14)
$k_{yz} =$	0,32		(rce 1.15)
$C_{mz} =$	0,54		(rce 1.16)
$k_{zy} =$	0,50		(rce 1.17)
$k_{zz} =$	0,54 ≤	0,54	(rce 1.18)

posouzení 1	0,18 <	1	(rce 1.19) <i>Vyhovuje</i>
posouzení 2	0,26 <	1	(rce 1.20) <i>Vyhovuje</i>

DIAGONÁLY

Navržena obdélníková trubka RRO 350x250x6 mm.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá výška vnější hrany	h	350,000	mm
Jmenovitá délka vnější hrany	b	250,000	mm
Tloušťka stěny	s	6,000	mm
Vnější rohové zaoblení	r	12,000	mm
Plocha průřezu	A	6960,000	mm ²



Smyková plocha	A_y	2242,500	mm ²
Smyková plocha	A_z	3668,000	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	$A_{v,y}$	2900,000	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	$A_{v,z}$	4060,000	mm ²
Plocha jádra	$A_{jád}$	83866,500	mm ²
Plastická smyková plocha	$A_{pl,y}$	2928,000	mm ²
Plastická smyková plocha	$A_{pl,z}$	4128,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I_y	124600000,000	mm ⁴
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I_z	74580000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i_y	134,000	mm
Poloměr setrvačnosti	i_z	103,000	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i_p	169,000	mm
Objem	V	6960000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	54,600	kg/m
Plocha pláště	$A_{plášť}$	1,180	m ² /m
Součinitel profilu	A_m/V	169,540	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I_t	145500000,000	mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	$I_{@v}$	30350000000,000	mm ⁶
Průřezový modul v kroucení	W_t	967000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W_y	712000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W_z	597000,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	843000,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z}$	671000,000	mm ³

Vzpěrná délka: $L_{cr,y} = L_{cr,z}$

Vnitřní síly

	kombinace	prut	L_{cr} [m]	N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
max. tah	KZ14	č. 546	4,42	+464,7				
max. tlak	KZ14	č. 547	4,07	-567,1				

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$d = h - 3t = 250 - 3 \cdot 6 = 232$$

$$\frac{d}{t} = \frac{232}{6} = 38,7 < 42\varepsilon = 42$$

Průřez klasifikován jako třída 3

Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6960 \cdot 235}{1,0} = 1635,6 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{464,7}{1635,6} = 0,28 < 1$$

*Vyhovuje***Posouzení na vzpěr**

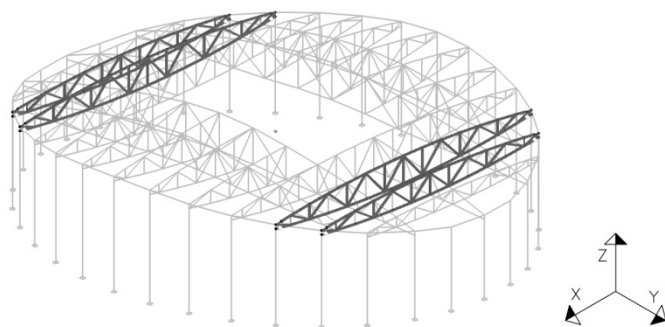
Lcr,y =	4070 mm	E =	210000 MPa
Iy =	1,25E+08 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	6960 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	567,1 kN		

iy =	133,75	(rce 1.01)	
λy =	30,43 < 200	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
Ncr,y =	15561774,72 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,32	(rce 1.04)	
Φ =	0,58	(rce 1.05)	
χ =	0,94	(rce 1.06)	
Nby,Rd =	1532,17 kN	(rce 1.07)	
Ned / Nb,Rd =	0,37 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

Lcr,z =	4070 mm	E =	210000 MPa
Iz =	7,46E+07 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	6960 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	567,1 kN		

iz =	103,52	(rce 1.01)	
λz =	39,32 < 200	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
Ncr,z =	9322065,53 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,42	(rce 1.04)	
Φ =	0,64	(rce 1.05)	
χ =	0,89	(rce 1.06)	
Nbz,Rd =	1451,26 kN	(rce 1.07)	
Ned / Nb,Rd =	0,39 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

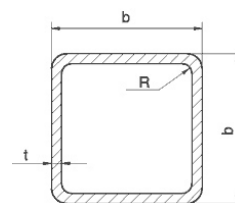
4.1.6 Vazník „D“



HORNÍ PÁS

Navržena čtvercová trubka QRO 220x220x8 mm.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá délka vnější hrany	b	220,000	mm
Tloušťka stěny	s	8,000	mm
Vnější rohové zaoblení	r	20,000	mm
Plocha průřezu	A	6560,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	2860,600	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	A _{v,y}	3280,000	mm ²
Plocha jádra	A _{jád}	44724,300	mm ²
Plastická smyková plocha	A _{pl,y}	3392,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _y	48280000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	85,800	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	121,300	mm
Objem	V	6560000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	51,500	kg/m
Plocha pláště	A _{plášť}	0,846	m ² /m
Součinitel profilu	A _m /V	128,963	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	78150000,000	mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	I _{ev}	171700000,000	mm ⁶
Průřezový modul v kroucení	W _t	668000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _y	439000,000	mm ³
Statický moment	S _{y,max}	128906,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	516000,000	mm ³



Vzpěrná délka: $L_{cr,y} = L_{cr,z}$

Vnitřní síly

	kombinace	prut	L _{cr} [m]	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
max. M	KZ14	č. 439	3,0	-770,7	53,1	7,4	16,7	67,3
max. V	KZ14	č. 51	2,3	-752,9	68,0	38,8	0	0
max. tlak	KZ50	č. 48	3,0	-997,9	-38,4	-7,6	4,6	49,4

max. komb. N+M	KZ14	č. 440	2,3	753,3	66,1	37,2	31,1	54,7
---------------------------	------	--------	-----	-------	------	------	------	------

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$d = h - 3t = 220 - 3 * 8 = 196$$

$$\frac{d}{t} = \frac{196}{8} = 24,5 < 33\varepsilon = 33$$

Průřez klasifikován jako třída 1

Posouzení na vzpěr

Lcr =	3000 mm	E =	210000 MPa
Iy =	4,83E+07 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	6560 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	997,9 kN		

iy =	85,79	(rce 1.01)	
λ =	34,97 < 200	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
Ncr =	11107168,05 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,37	(rce 1.04)	
Φ =	0,61	(rce 1.05)	
χ =	0,91	(rce 1.06)	
Nb,Rd =	1405,55 kN	(rce 1.07)	
Ned / Nb,Rd =	0,71 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

Posouzení na ohyb

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{516000 * 235}{1,0} = 121,26 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{67,3}{121,26} = 0,56 < 1$$

Vyhovuje

Kombinace tlaku a ohybu

A =	6560 mm ²	Ned =	997,9 kN
fy =	235 MPa	My,Ed =	4,6 kNm

W_{pl,y} =	5,16E+05 mm ³	M_{z,Ed} =	49,4 kNm
W_{pl,z} =	5,16E+05 mm ³		

N_{Rk} =	1541600,00 N	(rce 1.09)
M_{y,Rk} =	121,26 kNm	(rce 1.10)
M_{z,Rk} =	121,26 kNm	(rce 1.11)

ψM_h =	-14,4 kNm	ψM_h =	-32,8
M_h =	4,6 kNm	M_h =	54,7
ψ_y =	-0,32	ψ_z =	-0,60
α_h =	-		(rce 1.12)
C_{my} =	0,47		(rce 1.13)
k_{yy} =	0,53 ≤ 0,74		(rce 1.14)
k_{yz} =	0,27		(rce 1.15)
C_{mz} =	0,40		(rce 1.16)
k_{zy} =	0,32		(rce 1.17)
k_{zz} =	0,45 ≤ 0,63		(rce 1.18)

posouzení 1	0,84 < 1	(rce 1.19)	<i>Vyhovuje</i>
posouzení 2	0,90 < 1	(rce 1.20)	<i>Vyhovuje</i>

Posouzení na smyk

$$A_V = 3280 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{3280 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = 445 \text{ kN}$$

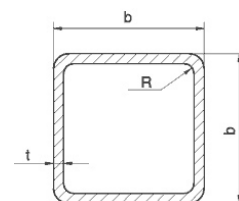
$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{68}{445} = 0,15 < 0,5$$

Jestliže smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti, je možné její účinek na únosnost v ohybu zanedbat.

DOLNÍ PÁS

Navržena čtvercová trubka QRO 220x220x5 mm.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá délka vnější hrany	b	220,000	mm
Tloušťka stěny	s	5,000	mm
Vnější rohové zaoblení	r	10,000	mm



Plocha průřezu	A	4240,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	1802,900	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	A _{v,y}	2120,000	mm ²
Plocha jádra	A _{jád}	46176,700	mm ²
Plastická smyková plocha	A _{pl,y}	2150,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _y	32380000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	87,400	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	123,600	mm
Objem	V	4240000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	33,300	kg/m
Plocha pláště	A _{plášť}	0,863	m ² /m
Součinitel profilu	A _m /V	203,538	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	50380000,000	mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	I _{@v}	33940000,000	mm ⁶
Průřezový modul v kroucení	W _t	442000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _y	294000,000	mm ³
Statický moment	S _{y,max}	84932,200	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	340000,000	mm ³

Vnitřní síly

	kombinace	prut	L _{cr} [m]	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
max. M	KZ49	č. 64	2,32	-710,6	1,25	10,4	25,4	-2,9
max. V	KZ49	č. 64	2,32	0	1,25	11,5	0	0
max. tah	KZ14	č. 397	3,0	+750,3	0,8	7,3	13,8	-0,8

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$d = h - 3t = 220 - 3 \cdot 5 = 205$$

$$\frac{d}{t} = \frac{205}{5} = 41 < 72\varepsilon = 72$$

Průřez klasifikován jako třída 1

Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4240 \cdot 235}{1,0} = 996,4 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{750,3}{996,4} = 0,75 < 1$$

Vyhovuje

Kombinace tahu a ohybu

$$M_{N,z,Rd} = \frac{M_{pl,z,Rd}(1-n)}{1-0,5a_w} = \frac{340000 * 235 * (1-0,75)}{1-0,5 * 0,481} = 26,3 \leq M_{pl,y,Rd} = 79,9 \text{ kNm} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$a_w = \frac{A - 2bt}{A} = \frac{4240 - 2 * 220 * 5}{4240} = 0,481 \leq 0,5 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0,75$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,y,Rd}} = \frac{13,8}{26,3} = 0,52 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení na smyk

$$A_V = 2120 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{2120 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = 287,6 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{11,5}{287,6} = 0,04 < 0,5$$

Jestliže smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti, je možné její účinek na únosnost v ohybu zanedbat.

Posouzení na ohyb

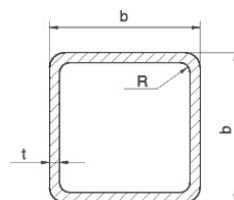
$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{340000 * 235}{1,0} = 79,9 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{25,4}{79,9} = 0,32 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

DIAGONÁLY

Navržena čtvercová trubka QRO 220x220x5 mm.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá délka vnější hrany	b	220,000	mm
Tloušťka stěny	s	5,000	mm
Vnější rohové zaoblení	r	10,000	mm
Plocha průřezu	A	4240,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	1802,900	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	A _{v,y}	2120,000	mm ²
Plocha jádra	A _{jád}	46176,700	mm ²
Plastická smyková plocha	A _{pl,y}	2150,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _y	32380000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	87,400	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	123,600	mm



Objem	V	4240000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	33,300	kg/m
Plocha pláště	A _{plášť}	0,863	m ² /m
Součinitel profilu	A _m /V	203,538	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	50380000,000	mm ⁴
Výšečový moment setrvačnosti	I _{@v}	33940000,000	mm ⁶
Průřezový modul v kroucení	W _t	442000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _y	294000,000	mm ³
Statický moment	S _{y,max}	84932,200	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	340000,000	mm ³

Vzpěrná délka: L_{cr,y} = L_{cr,z}

Vnitřní síly

	kombinace	prut	L _{cr} [m]	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
max. tah	KZ49	č. 88	2,43	+796,2				
max. tlak	KZ49	č. 89	1,0	-221,6				

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$d = h - 3t = 220 - 3 * 5 = 205$$

$$\frac{d}{t} = \frac{205}{5} = 41 < 42\varepsilon = 42$$

Průřez klasifikován jako třída 3

Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4240 * 235}{1,0} = 996,4 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{796,2}{996,4} = 0,8 < 1$$

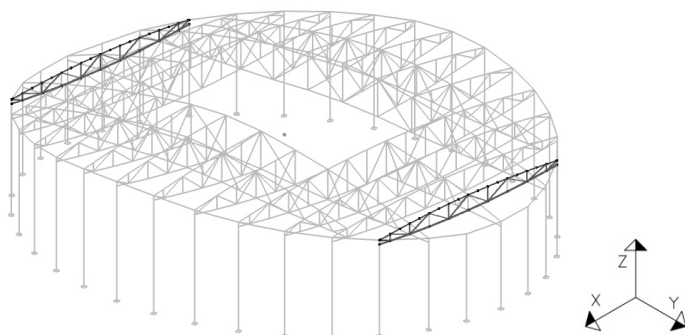
Vyhovuje

Posouzení na vzpěr

L_{cr} =	1000 mm	E =	210000 MPa
I_y =	3,24E+07 mm ⁴	f_y =	235 MPa
A =	4240 mm ²	α =	0,49 křivka c
N_{ed} =	221,6 kN		

$i_y =$	87,39	(rce 1.01)	
$\lambda =$	11,44 < 200	(rce 1.02)	Vyhovuje
$N_{cr} =$	67043308,08 N	(rce 1.03)	
$\lambda' =$	0,12	(rce 1.04)	
$\Phi =$	0,49	(rce 1.05)	
$\chi =$	1,04	(rce 1.06)	
$N_{b,Rd} =$	1036,69 kN	(rce 1.07)	
$N_{ed} / N_{b,Rd} =$	0,21 < 1	(rce 1.08)	Vyhovuje

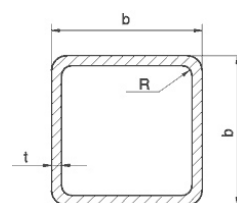
4.1.7 Vazník „E“



HORNÍ PÁS

Navržena čtvercová trubka QRO 160x160x10 mm.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá délka vnější hrany	b	160,000	mm
Tloušťka stěny	s	10,000	mm
Vnější rohové zaoblení	r	25,000	mm
Plocha průřezu	A	5660,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	2545,000	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	A _{v,y}	2830,000	mm ²
Plocha jádra	A _{jád}	22156,600	mm ²
Plastická smyková plocha	A _{pl,y}	3000,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _y	20480000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	60,200	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	85,100	mm
Objem	V	5660000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	44,400	kg/m
Plocha pláště	A _{plášť}	0,597	m ² /m
Součinitel profilu	A _m /V	105,477	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	34900000,000	mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	I _{@v}	71020000,000	mm ⁶



Průřezový modul v kroucení	W_t	395000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W_y	256000,000	mm ³
Statický moment	$S_{y,max}$	77737,100	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	311000,000	mm ³

Vzpěrná délka: $L_{cr,y} = L_{cr,z}$

Vnitřní síly

	kombinace	prut	L_{cr} [m]	N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
max. M	KZ49	č. 657	3,0	-269,6	-9,8	-1,8	5,9	-21,2
max. V	KZ49	č. 480	1,64	-276,6	153,2	42,5	0	0
max. tlak	KZ49	č. 1744	3,0	-655,6	-9,2	-14,8	-6,1	0
max. komb. N+M	KZ49	č. 1744	3,0	-655,6	-7,7	-12,8	15,2	-12,9

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$d = h - 3t = 160 - 3 \cdot 10 = 130$$

$$\frac{d}{t} = \frac{130}{10} = 13 < 33\varepsilon = 33$$

Průřez klasifikován jako třída 1

Posouzení na vzpěr

Lcr =	3000 mm	E =	210000 MPa
Iy =	2,05E+07 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	5660 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	655,6 kN		

iy =	60,15	(rce 1.01)	<i>Vyhovuje</i>
λ =	49,87 < 200	(rce 1.02)	
Ncr =	4711574,19 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,53	(rce 1.04)	
Φ =	0,72	(rce 1.05)	
χ =	0,83	(rce 1.06)	
Nb,Rd =	1097,75 kN	(rce 1.07)	

$$N_{ed} / N_{b,Rd} = 0,60 < 1 \quad (\text{rce 1.08}) \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení na ohyb

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{311000 * 235}{1,0} = 73,1 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{21,2}{73,1} = 0,3 < 1$$

Vyhovuje

Kombinace tlaku a ohybu

A =	5660 mm ²	N_{ed} =	655,6 kN
f_y =	235 MPa	M_{y,Ed} =	15,2 kNm
W_{pl,y} =	3,11E+05 mm ³	M_{z,Ed} =	12,9 kNm
W_{pl,z} =	3,11E+05 mm ³		

N_{Rk} =	1330100,00 N	(rce 1.09)
M_{y,Rk} =	70,10 kNm	(rce 1.10)
M_{z,Rk} =	70,10 kNm	(rce 1.11)

ψM_h =	-6,1 kNm	ψM_h =	0
M_h =	15,2 kNm	M_h =	-12,9
ψ_y =	-0,40	ψ_z =	0,00
α_h =	-		(rce 1.12)
C_{my} =	0,44		(rce 1.13)
k_{yy} =	0,53 ≤	0,65	(rce 1.14)
k_{yz} =	0,43		(rce 1.15)
C_{mz} =	0,60		(rce 1.16)
k_{zy} =	0,32		(rce 1.17)
k_{zz} =	0,72 ≤	0,89	(rce 1.18)
posouzení 1	0,79 <	1	(rce 1.19) Vyhovuje
posouzení 2	0,80 <	1	(rce 1.20) Vyhovuje

Posouzení na smyk

$$A_V = 2830 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{2830 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = 384 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{153,2}{384} = 0,4 < 0,5$$

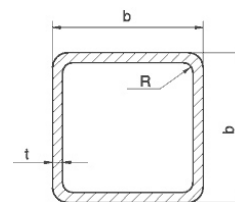
Jestliže by byla smyková síla větší než polovina plastické smykové únosnosti, nelze její účinek na únosnost v ohybu zanedbat. Zavedla by se redukce meze kluzu pro redukovanou únosnost v ohybu $(1-\rho) \cdot f_y$,

$$\text{kde } \rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

DOLNÍ PÁS

Navržena čtvercová trubka QRO 160x160x6 mm.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá délka vnější hrany	b	160,000	mm
Tloušťka stěny	t	6,000	mm
Vnější poloměr zaoblení	r	12,000	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r _i	6,000	mm
Plocha průřezu	A	3600,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	1555,500	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	A _{v,y}	1800,000	mm ²
Plocha jádra	A _{jád}	23646,500	mm ²
Plastická smyková plocha	A _{pl,y}	1848,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _y	14050000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	62,500	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	88,400	mm
Objem	V	3600000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	28,300	kg/m
Plocha pláště	A _{plášť}	0,620	m ² /m
Součinitel profilu	A _m /V	172,222	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	22390000,000	mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	I _{ev}	17940000,000	mm ⁶
Průřezový modul v kroucení	W _t	264000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _y	176000,000	mm ³
Statický moment	S _{y,max}	51560,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{ply}	206000,000	mm ³



Vnitřní síly

	kombinace	prut	Lcr [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
max. M	KZ49	č. 107	3,0	+445,3	-0,8	5,6	13,5	2,0
max. V	KZ49	č. 108	3,0	+728,5	1,0	-8,7	13,5	2,0
max. tah	KZ49	č. 108	3,0	+728,6	0,7	-7,1	7,6	1,3

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$d = h - 3t = 160 - 3 * 6 = 142$$

$$\frac{d}{t} = \frac{142}{6} = 23,7 < 72\varepsilon = 72$$

Průřez klasifikován jako třída 1

Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3600 * 235}{1,0} = 846 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{728,6}{846} = 0,86 < 1$$

Vyhovuje

Kombinace tahu a ohybu

$$M_{N,z,Rd} = \frac{M_{pl,z,Rd}(1-n)}{1-0,5a_w} = \frac{206000 * 235 * (1-0,86)}{1-0,5 * 0,467} = 8,84 \leq M_{pl,y,Rd} = 48,4 \text{ kNm} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$a_w = \frac{A - 2bt}{A} = \frac{3600 - 2 * 160 * 6}{3600} = 0,467 \leq 0,5 \quad \text{Vyhovuje}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0,86$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,y,Rd}} = \frac{7,6}{8,84} = 0,86 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení na smyk

$$A_V = 1800 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{1800 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = 244,2 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{8,7}{244,2} = 0,04 < 0,5$$

Jestliže smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti, je možné její účinek na únosnost v ohybu zanedbat.

Posouzení na ohyb

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{206000 * 235}{1,0} = 48,4 \text{ kNm}$$

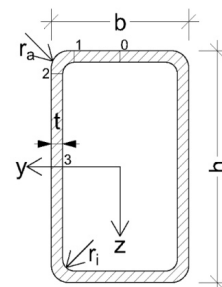
$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{13,5}{48,4} = 0,28 < 1$$

Vyhovuje

DIAGONÁLY

Navržena obdélníková trubka QRO 160x80x5 mm.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá výška vnější hrany	h	160,000	mm
Jmenovitá délka vnější hrany	b	80,000	mm
Tloušťka stěny	t	5,000	mm
Vnější poloměr zaoblení	r	10,000	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r _i	5,000	mm
Plocha průřezu	A	2240,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	503,800	mm ²
Smyková plocha	A _z	1426,700	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	A _{v,y}	746,700	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	A _{v,z}	1493,300	mm ²
Plocha jádra	A _{jád}	11576,700	mm ²
Plastická smyková plocha	A _{pl,y}	750,000	mm ²
Plastická smyková plocha	A _{pl,z}	1550,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _y	7220000,000	mm ⁴
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _z	2440000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	56,800	mm
Poloměr setrvačnosti	i _z	33,000	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	65,700	mm
Objem	V	2240000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	17,600	kg/m
Plocha pláště	A _{plášť}	0,460	m ² /m
Součinitel profilu	A _m /V	205,357	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	6010000,000	mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	I _{@v}	788600000,000	mm ⁶
Průřezový modul v kroucení	W _t	106000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _y	90200,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _z	61000,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	113000,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,z}	69700,000	mm ³



Vzpěrná délka: $L_{cr,y} = L_{cr,z}$

Vnitřní síly

	kombinace	prut	L _{cr} [m]	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
max. tah	KZ49	č. 117	1,755	+477,8				
max. tlak	KZ49	č. 2429	0,785	-139,1				

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$d = h - 3t = 160 - 3 \cdot 5 = 145$$

$$\frac{d}{t} = \frac{145}{5} = 29 < 33\varepsilon = 33$$

Průřez klasifikován jako třída 1

Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2240 \cdot 235}{1,0} = 526,4 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{477,8}{526,4} = 0,9 < 1$$

Vyhovuje

Posouzení na vzpěr

Lcr,y =	785 mm	E =	210000 MPa
Iy =	7,22E+06 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	2240 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	139,1 kN		

iy =	56,77	(rce 1.01)
λy =	13,83 < 200	(rce 1.02)
Ncr,y =	24259200,00 N	(rce 1.03)
λ' =	0,15	(rce 1.04)
Φ =	0,50	(rce 1.05)
χ =	1,03	(rce 1.06)
Nby,Rd =	540,68 kN	(rce 1.07)

Vyhovuje

Ned / Nb,Rd =	0,26 < 1	(rce 1.08)
----------------------	--------------------	------------

Vyhovuje

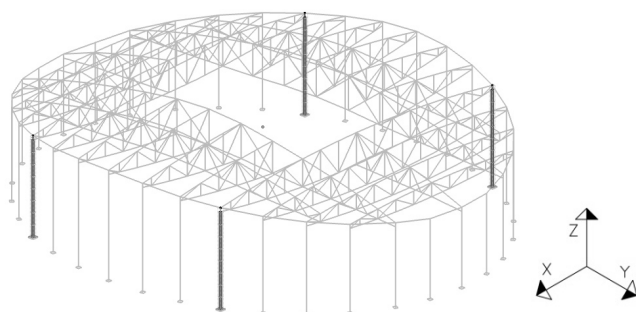
Lcr,z =	785 mm	E =	210000 MPa
Iz =	2,44E+06 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	2240 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	139,1 kN		

iz =	33,00	(rce 1.01)
λz =	23,78 < 200	(rce 1.02)

Vyhovuje

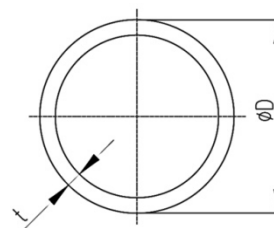
$N_{cr,z} =$	8198400,00 N	(rce 1.03)
$\lambda' =$	0,25	(rce 1.04)
$\Phi =$	0,55	(rce 1.05)
$\chi =$	0,97	(rce 1.06)
$N_{bz,Rd} =$	512,11 kN	(rce 1.07)
$N_{ed} / N_{b,Rd} =$	0,27 < 1	(rce 1.08) <i>Vyhovuje</i>

4.1.8 Sloupky pod vazníky „C“



Navržena kruhová trubka RO 406,4x10 mm.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	406,400	mm
Tloušťka stěny	s	10,000	mm
Plocha průřezu	A	12500,000	mm ²
Smyková plocha	A_y	6176,200	mm ²
Plocha jádra	$A_{jád}$	123412,000	mm ²
Plastická smyková plocha	$A_{pl,y}$	7928,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I_y	244800000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i_y	140,000	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i_p	198,000	mm
Objem	V	12500000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	98,100	kg/m
Plocha pláště	$A_{pláš}$	1,280	m ² /m
Součinitel profilu	A_m/V	102,400	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I_t	489500000,000	mm ⁴
Průřezový modul v kroucení	W_t	2409000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W_y	1205000,000	mm ³
Statický moment	$S_{y,max}$	394390,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	1572000,000	mm ³



Vzpěrná délka: $L_{cr,y} = 2 \cdot 12500 = 25000$ mm
 $L_{cr,z} = 1500$ mm

Vnitřní síly

	kombinace	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
max. M	KZ63	-62,4	20,3	12,8	29,8	-62,4
max. V	KZ60	-23,8	-90,1	-32,6	-8,3	-14,8
max. tlak	KZ14	-136,7	1,4	-8,0	-23,5	-8,4
max. komb. N+M	KZ14	-136,7	1,4	-8,0	-23,5	-8,4

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{d}{t} = \frac{406,4}{10} = 40,64 < 50\varepsilon^2 = 50$$

Průřez klasifikován jako třída 1

Posouzení na vzpěr

L_{cr,y} =	25000 mm	E =	210000 MPa
I_y =	2,45E+08 mm ⁴	f_y =	235 MPa
A =	12500 mm ²	α =	0,21 křivka a
N_{ed} =	136,7 kN		

i_y =	139,94	(rce 1.01)	<i>Vyhovuje</i>
λ_y =	178,64 < 180	(rce 1.02)	
N_{cr,y} =	810979,71 N	(rce 1.03)	
λ' =	1,90	(rce 1.04)	
Φ =	2,49	(rce 1.05)	
χ =	0,24	(rce 1.06)	
N_{by,Rd} =	717,27 kN	(rce 1.07)	
N_{ed} / N_{b,Rd} =	0,19 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

L_{cr,z} =	1500 mm	E =	210000 MPa
I_z =	2,45E+08 mm ⁴	f_y =	235 MPa
A =	12500 mm ²	α =	0,49 křivka c
N_{ed} =	136,7 kN		

iz =	139,94	(rce 1.01)	<i>Vyhovuje</i>
λz =	10,72 < 200	(rce 1.02)	
Ncr,z =	225272140,80 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,11	(rce 1.04)	
Φ =	0,49	(rce 1.05)	
χ =	1,04	(rce 1.06)	
Nbz,Rd =	3068,29 kN	(rce 1.07)	
Ned / Nb,Rd =	0,04 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

Posouzení na ohyb

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1572000 * 235}{1,0} = 369,4 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{62,4}{369,4} = 0,17 < 1$$

*Vyhovuje***Kombinace tlaku a ohybu**

A =	12500 mm ²	Ned =	136,7 kN
fy =	235 MPa	My,Ed =	23,5 kNm
Wpl,y =	1,57E+06 mm ³	Mz,Ed =	8,4 kNm
Wpl,z =	1,57E+06 mm ³		

NRk =	2937500,00 N	(rce 1.09)
My,Rk =	369,42 kNm	(rce 1.10)
Mz,Rk =	369,42 kNm	(rce 1.11)

ψMh =	-17,5 kNm	ψMh =	-7,4
Mh =	-23,5 kNm	Mh =	-8,4
ψy =	0,74	ψz =	0,88
αh =	-		(rce 1.12)
Cmy =	0,90		(rce 1.13)
kyy =	1,19 ≤	1,04	(rce 1.14)
kyz =	0,57		(rce 1.15)
Cmz =	0,95		(rce 1.16)
kzy =	0,72		(rce 1.17)
kzz =	0,95 ≤	0,98	(rce 1.18)

posouzení 1	0,27	<	1	(rce 1.19)	<i>Vyhovuje</i>
posouzení 2	0,11	<	1	(rce 1.20)	<i>Vyhovuje</i>

Posouzení na smyk

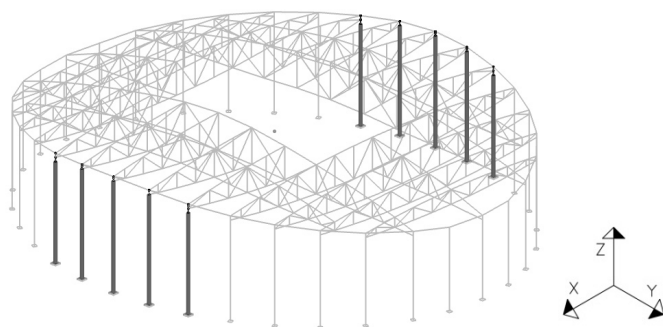
$$A_V = 6176 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{6176 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = 838 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{90,1}{838} = 0,11 < 0,5$$

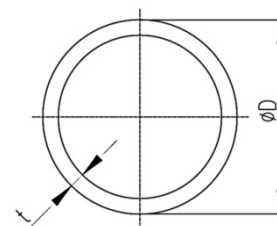
Jestliže smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti, je možné její účinek na únosnost v ohybu zanedbat.

4.1.9 Sloupy pod vazníky „A“



Navržena kruhová trubka RO 457x10 mm.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	457,000	mm
Tloušťka stěny	s	10,000	mm
Plocha průřezu	A	14000,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	6964,000	mm ²
Plocha jádra	A _{jád}	156930,000	mm ²
Plastická smyková plocha	A _{pl,y}	8940,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _y	350900000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	158,000	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	223,400	mm
Objem	V	14000000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	109,900	kg/m
Plocha pláště	A _{plášť}	1,440	m ² /m
Součinitel profilu	A _m /V	102,857	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	701800000,000	mm ⁴
Průřezový modul v kroucení	W _t	3071000,000	mm ³



Elastický průřezový modul	W_y	1536000,000	mm ³
Statický moment	$S_{y,max}$	498079,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	1998000,000	mm ³

Vzpěrná délka: $L_{cr,y} = 2 \cdot 13700 = 27400$ mm

$L_{cr,z} = 1500$ mm

Vnitřní síly

	kombinace	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
max. M	KZ63	-62,4	23,0	10,8	25,6	-84,7
max. V	KZ60	-2,9	59,5	-2,3	-2,5	-12,5
max. tlak	KZ14	-141,3	0	-8,8	-48,7	2,5
max. komb. N+M	KZ14	-128,4	0	-9,8	-65,5	0
max. tah	KZ61	+46,0	-2,2	2,1	4,3	-7,9

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{d}{t} = \frac{457}{10} = 45,7 < 50\varepsilon^2 = 50$$

Průřez klasifikován jako třída 1

Posouzení na vzpěr

L_{cr,y} =	27400 mm	E =	210000 MPa
I_y =	3,51E+08 mm ⁴	f_y =	235 MPa
A =	14000 mm ²	α =	0,21 křivka a
N_{ed} =	141,3 kN		

i_y =	158,32	(rce 1.01)
λ_y =	173,07 < 180	(rce 1.02)
N_{cr,y} =	967744,77 N	(rce 1.03)
λ' =	1,84	(rce 1.04)
Φ =	2,37	(rce 1.05)
χ =	0,26	(rce 1.06)
N_{by,Rd} =	851,16 kN	(rce 1.07)

Vyhovuje

N_{ed} / N_{b,Rd} =	0,17 < 1	(rce 1.08)
--	--------------------	------------

Vyhovuje

Lcr,z =	1500 mm	E =	210000 MPa
Iz =	3,51E+08 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	14000 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	141,3 kN		

iz =	158,32	(rce 1.01)	
λz =	9,47 < 180	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
Ncr,z =	322908473,07 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,10	(rce 1.04)	
Φ =	0,48	(rce 1.05)	
χ =	1,05	(rce 1.06)	
Nbz,Rd =	3459,76 kN	(rce 1.07)	
Ned / Nb,Rd =	0,04 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

Posouzení na ohyb

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1998000 * 235}{1,0} = 469,5 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{84,7}{469,5} = 0,18 < 1$$

Vyhovuje

Kombinace tlaku a ohybu

Lcr,y =	27400 mm	E =	210000 MPa
Iy =	3,51E+08 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	14000 mm ²	α =	0,21 křivka a
Ned =	128,4 kN		

iy =	158,32	(rce 1.01)	
λy =	173,07 < 180	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
Ncr,y =	967744,77 N	(rce 1.03)	
λ' =	1,84	(rce 1.04)	
Φ =	2,37	(rce 1.05)	
χ =	0,26	(rce 1.06)	
Nby,Rd =	851,16 kN	(rce 1.07)	
Ned / Nb,Rd =	0,15 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

L_{cr,z} =	1500 mm	E =	210000 MPa
I_z =	3,51E+08 mm ⁴	f_y =	235 MPa
A =	14000 mm ²	α =	0,49 křivka c
N_{ed} =	128,4 kN		

i_z =	158,32	(rce 1.01)	
λ_z =	9,47 < 200	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
N_{cr,z} =	322908473,07 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,10	(rce 1.04)	
Φ =	0,48	(rce 1.05)	
χ =	1,05	(rce 1.06)	
N_{bz,Rd} =	3459,76 kN	(rce 1.07)	
N_{ed} / N_{b,Rd} =	0,04 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

A =	14000 mm ²	N_{ed} =	128,4 kN
f_y =	235 MPa	M_{y,Ed} =	65,5 kNm
W_{pl,y} =	2,00E+06 mm ³	M_{z,Ed} =	0 kNm
W_{pl,z} =	2,00E+06 mm ³		

N_{Rk} =	3290000,00 N	(rce 1.09)
M_{y,Rk} =	469,53 kNm	(rce 1.10)
M_{z,Rk} =	469,53 kNm	(rce 1.11)

ψM_h =	-50,7 kNm	ψM_h =	0
M_h =	-65,5 kNm	M_h =	0
ψ_y =	0,77	ψ_z =	0
α_h =	-	(rce 1.12)	
C_{my} =	0,91	(rce 1.13)	
k_{yy} =	1,14 ≤	1,02	(rce 1.14)
k_{yz} =	0,00	(rce 1.15)	
C_{mz} =	0,00	(rce 1.16)	
k_{zy} =	0,68	(rce 1.17)	
k_{zz} =	0,00 ≤	0,00	(rce 1.18)

posouzení 1	0,29 <	1	(rce 1.19) <i>Vyhovuje</i>
--------------------	---------------	---	----------------------------

posouzení 2

0,13 <

1

(rce 1.20) *Vyhovuje***Posouzení na smyk**

$$A_V = 6964 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{6964 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = 944,9 \text{ kN}$$

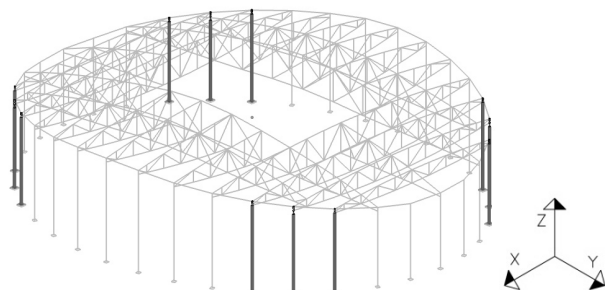
$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{59,5}{945} = 0,06 < 0,5$$

Jestliže smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti, je možné její účinek na únosnost v ohybu zanedbat.

Posouzení na tah

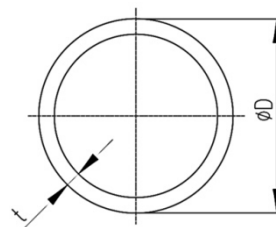
$$N_{t,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{14000 * 235}{1,0} = 3290 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{46}{3290} = 0,01 < 1$$

*Vyhovuje***4.1.10 Sloupy pod vazníky „D,E“**

Navržena kruhová trubka RO 406,4x10 mm.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	406,400	mm
Tloušťka stěny	s	10,000	mm
Plocha průřezu	A	12500,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	6176,200	mm ²
Plocha jádra	A _{jád}	123412,000	mm ²
Plastická smyková plocha	A _{pl,y}	7928,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _y	244800000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	140,000	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	198,000	mm



Objem	V	12500000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	98,100	kg/m
Plocha pláště	A _{plášť}	1,280	m ² /m
Součinitel profilu	A _m /V	102,400	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	489500000,000	mm ⁴
Průřezový modul v kroucení	W _t	2409000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _y	1205000,000	mm ³
Statický moment	S _{y,max}	394390,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	1572000,000	mm ³

Vzpěrná délka: L_{cr,y} = 2*12000=24000 mm

L_{cr,z} = 1500 mm

Vnitřní síly

	kombinace	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
max. M	KZ63	-20,3	49,0	26,9	40,4	-93,0
max. V	KZ14	-392,6	258,7	-191,0	-44,5	-45,0
max. tlak	KZ49	-559,4	15,6	-8,8	-26,3	-44,1
max. komb. N+M	KZ49	-559,4	15,6	-8,8	-26,3	-44,1
max. tah	KZ60	+93,5	26,4	-20,0	0	-17,0

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{d}{t} = \frac{406,4}{10} = 40,64 < 50\varepsilon^2 = 50$$

Průřez klasifikován jako třída 1

Posouzení na vzpěr

L_{cr,y} =	24000 mm	E =	210000 MPa
I_y =	2,45E+08 mm ⁴	f_y =	235 MPa
A =	12500 mm ²	α =	0,21 křivka a
N_{ed} =	559,4 kN		

i_y =	139,94	(rce 1.01)	
λ_y =	171,50 < 180	(rce 1.02)	Vyhovuje
N_{cr,y} =	879969,30 N	(rce 1.03)	

$\lambda' =$	1,83	(rce 1.04)	
$\Phi =$	2,34	(rce 1.05)	
$\chi =$	0,26	(rce 1.06)	
$N_{by,Rd} =$	772,66 kN	(rce 1.07)	
$N_{ed} / N_{b,Rd} =$	0,72 < 1	(rce 1.08)	Vyhovuje

$L_{cr,z} =$	1500 mm	$E =$	210000 MPa
$I_z =$	2,45E+08 mm ⁴	$f_y =$	235 MPa
$A =$	12500 mm ²	$\alpha =$	0,49 křivka c
$N_{ed} =$	559,4 kN		

$i_z =$	139,94	(rce 1.01)	
$\lambda_z =$	10,72 < 200	(rce 1.02)	Vyhovuje
$N_{cr,z} =$	225272140,80 N	(rce 1.03)	
$\lambda' =$	0,11	(rce 1.04)	
$\Phi =$	0,49	(rce 1.05)	
$\chi =$	1,04	(rce 1.06)	
$N_{bz,Rd} =$	3068,29 kN	(rce 1.07)	
$N_{ed} / N_{b,Rd} =$	0,18 < 1	(rce 1.08)	Vyhovuje

Posouzení na ohyb

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1572000 * 235}{1,0} = 369,4 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{93}{369,4} = 0,25 < 1$$

Vyhovuje

Kombinace tlaku a ohybu

$A =$	12500 mm ²	$N_{ed} =$	559,4 kN
$f_y =$	235 MPa	$M_{y,Ed} =$	26,3 kNm
$W_{pl,y} =$	1,57E+06 mm ³	$M_{z,Ed} =$	44,1 kNm
$W_{pl,z} =$	1,57E+06 mm ³		

$N_{Rk} =$	2937500,00 N	(rce 1.09)
$M_{y,Rk} =$	369,42 kNm	(rce 1.10)
$M_{z,Rk} =$	369,42 kNm	(rce 1.11)

$\psi M_h =$	-19,7 kNm	$\psi M_h =$	-20,3
$M_h =$	-26,3 kNm	$M_h =$	-44,1
$\psi =$	0,75	$\psi_z =$	0,46
$\alpha_h =$	-		(rce 1.12)
$C_{my} =$	0,90		(rce 1.13)
$k_{yy} =$	1,96 \leq	1,42	(rce 1.14)
$k_{yz} =$	0,46		(rce 1.15)
$C_{mz} =$	0,78		(rce 1.16)
$k_{zy} =$	1,18		(rce 1.17)
$k_{zz} =$	0,77 \leq	0,89	(rce 1.18)

posouzení 1	0,88 <	1	(rce 1.19)	<i>Vyhovuje</i>
posouzení 2	0,36 <	1	(rce 1.20)	<i>Vyhovuje</i>

Posouzení na smyk

$$A_V = 6176 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{6176 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = 838 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{258,7}{838} = 0,31 < 0,5$$

Jestliže smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti, je možné její účinek na únosnost v ohybu zanedbat.

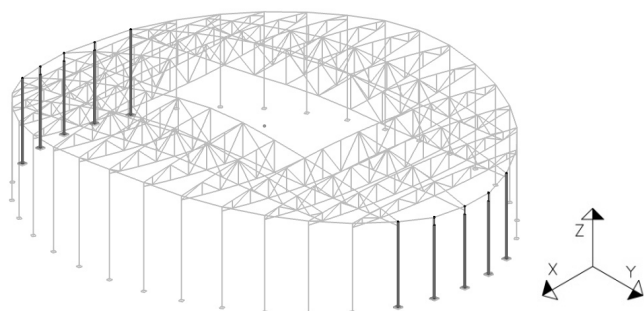
Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{12500 * 235}{1,0} = 2937,5 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{93,5}{2937,5} = 0,03 < 1$$

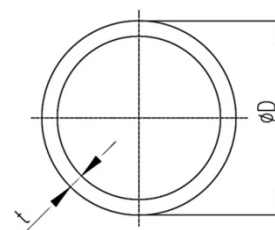
Vyhovuje

4.1.11 Sloupy ostatní



Navržena kruhová trubka RO 324x7 mm.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	324,000	mm
Tloušťka stěny	s	7,000	mm
Plocha průřezu	A	6971,200	mm ²
Smyková plocha	A _y	3457,000	mm ²
Plocha jádra	A _{jád}	78923,900	mm ²
Plastická smyková plocha	A _{pl,y}	4438,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _y	87610000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	112,100	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	158,500	mm
Objem	V	6971190,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	54,700	kg/m
Plocha pláště	A _{plášť}	1,018	m ² /m
Součinitel profilu	A _m /V	146,012	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	175200000,000	mm ⁴
Elastický průřezový modul	W _y	540795,000	mm ³
Statický moment	S _{y,max}	175884,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,y}	703537,000	mm ³



Vzpěrná délka: L_{cr,y} = 2*10000=20000 mm
L_{cr,z} = 1500 mm

Vnitřní síly

	kombinace	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
max. M	KZ63	-30,5	21,8	0	0	-52,8
max. V	KZ49	-37,9	-22,5	0	0	22,6
max. tlak	KZ49	-52,7	10,2	0	1,0	-21,8
max. komb. N+M	KZ49	-30,5	21,8	0	0	-52,8
max. tah	KZ62	+6,2	0	1,3	2,8	1,6

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{d}{t} = \frac{324}{7} = 46,3 < 50\varepsilon^2 = 50$$

Průřez klasifikován jako třída 1

Posouzení na vzpěr

L_{cr,y} =	20000 mm	E =	210000 MPa
I_y =	8,76E+07 mm ⁴	f_y =	235 MPa
A =	6971,2 mm ²	α =	0,21 křivka a
N_{ed} =	52,7 kN		

i_y =	112,10	(rce 1.01)	
λ_y =	178,40 < 180	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
N_{cr,y} =	453494,77 N	(rce 1.03)	
λ' =	1,90	(rce 1.04)	
Φ =	2,48	(rce 1.05)	
χ =	0,24	(rce 1.06)	
N_{by,Rd} =	401,00 kN	(rce 1.07)	
N_{ed} / N_{b,Rd} =	0,13 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

L_{cr,z} =	1500 mm	E =	210000 MPa
I_z =	8,76E+07 mm ⁴	f_y =	235 MPa
A =	6971,2 mm ²	α =	0,49 křivka c
N_{ed} =	52,7 kN		

i_z =	112,10	(rce 1.01)	
λ_z =	13,38 < 200	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
N_{cr,z} =	80621291,89 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,14	(rce 1.04)	
Φ =	0,50	(rce 1.05)	
χ =	1,03	(rce 1.06)	
N_{bz,Rd} =	1686,73 kN	(rce 1.07)	
N_{ed} / N_{b,Rd} =	0,03 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

Posouzení na ohyb

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{703537 * 235}{1,0} = 165,3 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{32,8}{165,3} = 0,2 < 1$$

Vyhovuje

Kombinace tlaku a ohybu

A =	6971,2 mm ²	N_{ed} =	52,7 kN
f_y =	235 MPa	M_{y,Ed} =	0 kNm
W_{pl,y} =	7,04E+05 mm ³	M_{z,Ed} =	52,8 kNm
W_{pl,z} =	7,04E+05 mm ³		

N_{Rk} =	1638232,00 N	(rce 1.09)
M_{y,Rk} =	165,33 kNm	(rce 1.10)
M_{z,Rk} =	165,33 kNm	(rce 1.11)

ψM_h =	0 kNm	ψM_h =	-36,4
M_h =	0 kNm	M_h =	-52,8
ψ =	0,00	ψ_z =	0,69
α_h =	-		(rce 1.12)
C_{my} =	0,00		(rce 1.13)
k_{yy} =	0,00 ≤	0,00	(rce 1.14)
k_{yz} =	0,53		(rce 1.15)
C_{mz} =	0,88		(rce 1.16)
k_{zy} =	0,00		(rce 1.17)
k_{zz} =	0,88 ≤	0,90	(rce 1.18)

posouzení 1	0,32 <	1	(rce 1.19)	<i>Vyhovuje</i>
posouzení 2	0,35 <	1	(rce 1.20)	<i>Vyhovuje</i>

Posouzení na smyk

$$A_V = 3457 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{3457 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = 469 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{22,5}{469} = 0,05 < 0,5$$

Jestliže smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti, je možné její účinek na únosnost v ohybu zanedbat.

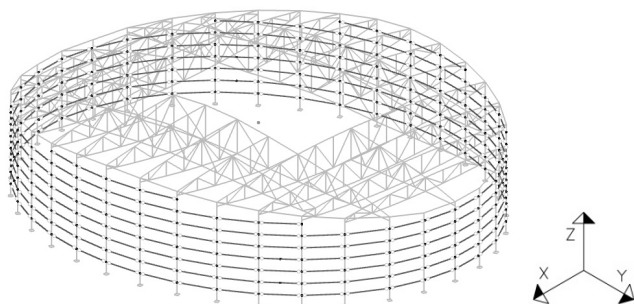
Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6971,2 * 235}{1,0} = 1638,2 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{6,2}{1638,2} = 0,004 < 1$$

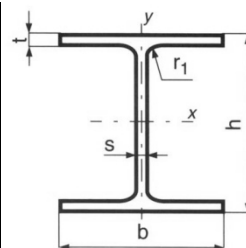
Vyhovuje

4.1.12 Paždíky



Navržena HEA 120, otočena o 90°.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Výška profilu	h	114,000	mm
Šířka profilu	b	120,000	mm
Tloušťka stojiny	t _w	5,000	mm
Tloušťka pásnice	t _f	8,000	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r	12,000	mm
Plocha průřezu	A	2530,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	1599,600	mm ²
Smyková plocha	A _z	485,600	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	A _{v,y}	2005,000	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	A _{v,z}	842,000	mm ²
Plocha stojiny	A _{stojina}	490,000	mm ²
Plastická smyková plocha	A _{pl,y}	1920,000	mm ²
Plastická smyková plocha	A _{pl,z}	530,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _y	6060000,000	mm ⁴
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I _z	2310000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	48,900	mm
Poloměr setrvačnosti	i _z	30,200	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i _p	57,500	mm
Poloměr setrvačnosti pásnice + 1/5 výšky stojiny	i _{zg}	32,100	mm
Objem	V	2530000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	19,900	kg/m
Plocha pláště	A _{plášť}	0,677	m ² /m
Součinitel profilu	A _m /V	267,589	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	60200,000	mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	I _{@v}	6472000000,000	mm ⁶
Elastický průřezový modul	W _y	106000,000	mm ³



Elastický průřezový modul	W_z	38500,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	119400,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z}$	58852,900	mm ³

Vzpěrná délka: $L_{cr,y} = L_{cr,z}$ = délka paždíku

Vnitřní síly

	kombinace	prut	L_{cr} [m]	N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
max. M	KZ70	č. 1058	4,96	+7,5	-6,1	0,0	0	-6,0
max. V	KZ70	č. 1058	4,96	+7,5	-6,1	0	0	-6,0
max. tlak	KZ60	č. 1108	4,96	-80,5	0,0	-1,8	0,0	0
max. tah	KZ49	č. 1151	5,38	+112,0	0	0	0	0
max. komb. N+M	KZ60	č. 1010	5,38	-25,7	0	0	5,25	0

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$c = h - 3tf = 114 - 3 \cdot 8 = 90$$

$$\frac{c}{t} = \frac{90}{8} = 11,25 < 33\varepsilon = 33$$

Průřez klasifikován jako třída 1

Posouzení na vzpěr

$L_{cr,y} =$	4960 mm	$E =$	210000 MPa
$I_y =$	6,06E+06 mm ⁴	$f_y =$	235 MPa
$A =$	2530 mm ²	$\alpha =$	0,49 křivka c
$N_{ed} =$	80,5 kN		

$i_y =$	48,94	(rce 1.01)
$\lambda_y =$	101,35 < 200	(rce 1.02)
$N_{cr,y} =$	510020,77 N	(rce 1.03)
$\lambda' =$	1,08	(rce 1.04)
$\Phi =$	1,30	(rce 1.05)
$\chi =$	0,50	(rce 1.06)
$N_{by,Rd} =$	294,40 kN	(rce 1.07)

Vyhovuje

$$N_{ed} / N_{b,Rd} = 0,27 < 1 \quad (\text{rce 1.08}) \quad \text{Vyhovuje}$$

L_{cr,z} =	4960 mm	E =	210000 MPa
I_z =	2,31E+06 mm ⁴	f_y =	235 MPa
A =	2530 mm ²	α =	0,49 křivka c
N_{ed} =	80,5 kN		

i_z =	30,22	(rce 1.01)	
λ_z =	164,15 < 200	(rce 1.02)	Vyhovuje
N_{cr,z} =	194413,86 N	(rce 1.03)	
λ' =	1,75	(rce 1.04)	
Φ =	2,41	(rce 1.05)	
χ =	0,25	(rce 1.06)	
N_{bz,Rd} =	146,27 kN	(rce 1.07)	
N_{ed} / N_{b,Rd} =	0,55 < 1	(rce 1.08)	Vyhovuje

Posouzení na ohyb

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{58852,9 * 235}{1,0} = 13,8 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{6,0}{13,8} = 0,43 < 1$$

Vyhovuje

Kombinace tlaku a ohybu

L_{cr,y} =	4960 mm	E =	210000 MPa
I_y =	6,06E+06 mm ⁴	f_y =	235 MPa
A =	2530 mm ²	α =	0,49 křivka c
N_{ed} =	25,7 kN		

i_y =	48,94	(rce 1.01)	
λ_y =	101,35 < 200	(rce 1.02)	Vyhovuje
N_{cr,y} =	510020,77 N	(rce 1.03)	
λ' =	1,08	(rce 1.04)	
Φ =	1,30	(rce 1.05)	
χ =	0,50	(rce 1.06)	
N_{by,Rd} =	294,40 kN	(rce 1.07)	

Ned / Nb,Rd =	0,09 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>
----------------------	--------------------	------------	-----------------

Lcr,z =	4960 mm	E =	210000 MPa
Iz =	2,31E+06 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	2530 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	25,7 kN		

iz =	30,22	(rce 1.01)	
λz =	164,15 < 200	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
Ncr,z =	194413,86 N	(rce 1.03)	
λ' =	1,75	(rce 1.04)	
Φ =	2,41	(rce 1.05)	
χ =	0,25	(rce 1.06)	
Nbz,Rd =	146,27 kN	(rce 1.07)	
Ned / Nb,Rd =	0,18 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

A =	2530 mm ²	Ned =	25,7 kN
fy =	235 MPa	My,Ed =	5,25 kNm
Wpl,y =	1,19E+05 mm ³	Mz,Ed =	0 kNm
Wpl,z =	5,89E+04 mm ³		

NRk =	594550,00 N	(rce 1.09)
My,Rk =	28,06 kNm	(rce 1.10)
Mz,Rk =	13,83 kNm	(rce 1.11)

Mh =	0 kNm	
Ms =	5,25 kNm	
ψ =	1,00	
αh =	0,00	(rce 1.12)
Cmy =	0,95	(rce 1.13)
kyy =	1,02 ≤ 1,02	(rce 1.14)
kyz =	0,00	(rce 1.15)
Cmz =	0,00	(rce 1.16)
kzy =	0,61	(rce 1.17)

k_{zz} =	0,00 ≤	0,00	(rce 1.18)
-------------------------	--------	-------------	------------

posouzení 1	0,28 <	1	(rce 1.19)	<i>Vyhovuje</i>
posouzení 2	0,29 <	1	(rce 1.20)	<i>Vyhovuje</i>

Posouzení na smyk

$$A_V = 842 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{842 * 235}{\sqrt{3} * 1,0} = 114,2 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{6,1}{114,2} = 0,05 < 0,5$$

Jestliže smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti, je možné její účinek na únosnost v ohybu zanedbat.

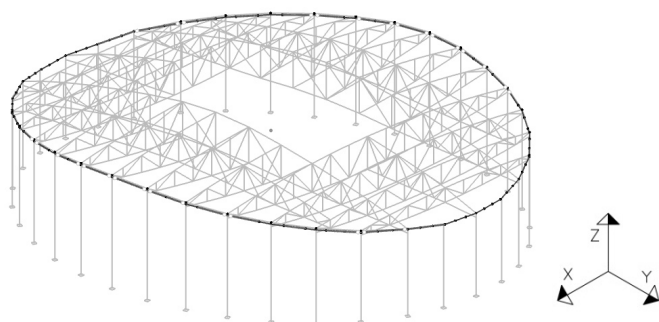
Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2530 * 235}{1,0} = 594,55 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{112}{594,55} = 0,19 < 1$$

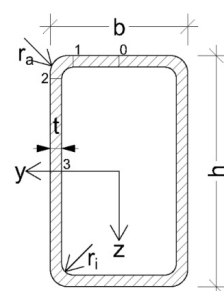
Vyhovuje

4.1.13 Vaznice – prstenec



Navržena obdélníková trubka RRO 200x80x4mm.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá výška vnější hrany	h	200,000	mm
Jmenovitá délka vnější hrany	b	80,000	mm
Tloušťka stěny	t	4,000	mm
Vnější poloměr zaoblení	r	8,000	mm
Vnitřní poloměr zaoblení	r _i	4,000	mm
Plocha průřezu	A	2130,000	mm ²



Smyková plocha	A_y	367,400	mm ²
Smyková plocha	A_z	1452,700	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	$A_{v,y}$	608,600	mm ²
Účinná smyková plocha podle EC 3	$A_{v,z}$	1521,400	mm ²
Plocha jádra	$A_{jád}$	14865,100	mm ²
Plastická smyková plocha	$A_{pl,y}$	608,000	mm ²
Plastická smyková plocha	$A_{pl,z}$	1568,000	mm ²
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I_y	10460000,000	mm ⁴
Moment setrvačnosti (plošný moment 2. stupně)	I_z	2500000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i_y	70,000	mm
Poloměr setrvačnosti	i_z	34,200	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i_p	77,900	mm
Objem	V	2130000,000	mm ³ /m
Hmotnost průřezu	G	16,700	kg/m
Plocha pláště	$A_{pláš}$	0,550	m ² /m
Součinitel profilu	A_m/V	258,216	1/m
Moment tuhosti v kroucení	I_t	6640000,000	mm ⁴
Výsečový moment setrvačnosti	$I_{@v}$	1973000000,000	mm ⁶
Průřezový modul v kroucení	W_t	111000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W_y	105000,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W_z	62400,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	132000,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z}$	69600,000	mm ³

Vzpěrná délka: $L_{cr,y} = L_{cr,z}$

Vnitřní síly

	kombinace	prut	L_{cr} [m]	N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
max. M	KZ49	č. 2172	4,5	+92,8	0	-7,5	11,3	1,0
max. V	KZ49	č. 2172	4,5	+92,8	0	-7,5	11,3	1,0
max. tlak	KZ50	č. 691	5,0	-62,6	0	-1,4	0	0
max. tah	KZ49	č. 1418	5,0	+317,0	-2,8	4,3	0	0
max. komb. N+M	KZ50	č. 691	3,585	-62,5	0	0	3,4	0

Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$d = h - 3t = 200 - 3 \cdot 4 = 188$$

$$\frac{d}{t} = \frac{188}{4} = 47 \geq 42\varepsilon = 42$$

Průřez klasifikován jako třída 4

Posouzení na vzpěr

Lcr,y =	5000 mm	E =	210000 MPa
Iy =	1,05E+07 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	2130 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	62,6 kN		

iy =	70,08	(rce 1.01)	
λy =	71,35 < 200	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
Ncr,y =	866303,89 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,76	(rce 1.04)	
Φ =	0,93	(rce 1.05)	
χ =	0,69	(rce 1.06)	
Nby,Rd =	343,97 kN	(rce 1.07)	
Ned / Nb,Rd =	0,18 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

Lcr,z =	5000 mm	E =	210000 MPa
Iz =	2,50E+06 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	2130 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	62,6 kN		

iz =	34,26	(rce 1.01)	
λz =	145,95 < 200	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
Ncr,z =	207051,60 N	(rce 1.03)	
λ' =	1,55	(rce 1.04)	
Φ =	2,04	(rce 1.05)	
χ =	0,30	(rce 1.06)	
Nbz,Rd =	148,87 kN	(rce 1.07)	
Ned / Nb,Rd =	0,42 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

Posouzení na ohyb

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{104554 \cdot 235}{1,0} = 24,6 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{11,3}{24,6} = 0,46 < 1$$

Vyhovuje

Kombinace tlaku a ohybu

A_{eff} =	2130 mm ²	N_{ed} =	62,5 kN
f_y =	235 MPa	M_{y,Ed} =	3,4 kNm
W_{eff,y} =	1,05E+05 mm ³	M_{z,Ed} =	0 kNm
W_{eff,z} =	5,72E+04 mm ³		

N_{Rk} =	500550,00 N	(rce 1.09)
M_{y,Rk} =	24,57 kNm	(rce 1.10)
M_{z,Rk} =	13,44 kNm	(rce 1.11)

M_s =	3,4 kNm
M_h =	0 kNm
ψ =	1,00
α_h =	0,00 (rce 1.12)
C_{my} =	0,95 (rce 1.13)
k_{yy} =	1,05 ≤ 1,09 (rce 1.14)
k_{yz} =	0,00 (rce 1.15)
C_{mz} =	0,00 (rce 1.16)
k_{zy} =	0,63 (rce 1.17)
k_{zz} =	0,00 ≤ 0,00 (rce 1.18)

posouzení 1	0,33 < 1	(rce 1.19)	Vyhovuje
posouzení 2	0,51 < 1	(rce 1.20)	Vyhovuje

Posouzení na smyk

$$A_V = 1521 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1521 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 206,4 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{7,5}{206,4} = 0,04 < 0,5$$

Vyhovuje

Jestliže smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti, je možné její účinek na únosnost v ohybu zanedbat.

Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2130 \cdot 235}{1,0} = 500,6 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{317}{500,6} = 0,63 < 1$$

Vyhovuje

Kombinace tahu a ohybu

$$M_{N,z,Rd} = \frac{M_{pl,z,Rd}(1-n)}{1-0,5a_w} = \frac{24,6 \cdot (1-0,185)}{1-0,5 \cdot 0,25} = 22,9 \leq M_{pl,y,Rd} = 24,6 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

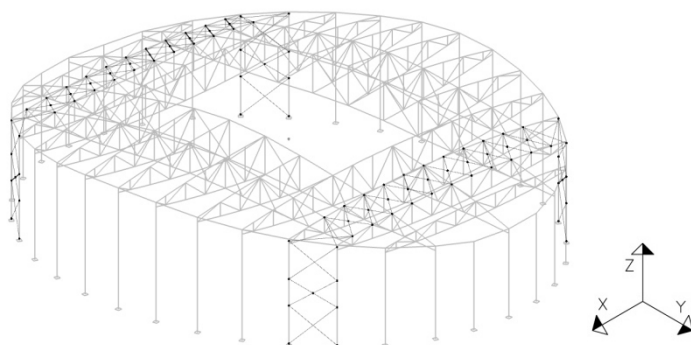
$$a_w = \frac{A - 2bt}{A} = \frac{2130 - 2 \cdot 200 \cdot 4}{2130} = 0,25 \leq 0,5$$

Vyhovuje

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{92,8}{500,6} = 0,185$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,y,Rd}} = \frac{11,3}{22,9} = 0,49$$

Vyhovuje

4.1.14 Příčné ztužidlo

Navržena táhla Macalloy 460 – M30, jmenovitý průměr 28 mm.

Vnitřní síly

	kombinace	prut	Lcr [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
max. tah	KZ14	č. 2086		+189,0				

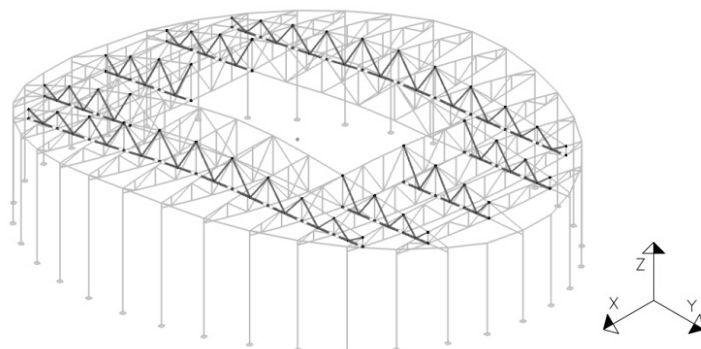
Limitní štíhlost pro tažené prvky $\lambda = 400$ zde není třeba posuzovat, protože táhlo je opatřeno napínákem. Aby byl omezen průhyb táhla, bude táhlo v konstrukci předepnuto a tedy okamžitě aktivováno. Táhla se mezi sebou vykříží pomocí systémového dílce „cross coupler“.

Posouzení na tah

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{189}{254} = 0,74 < 1$$

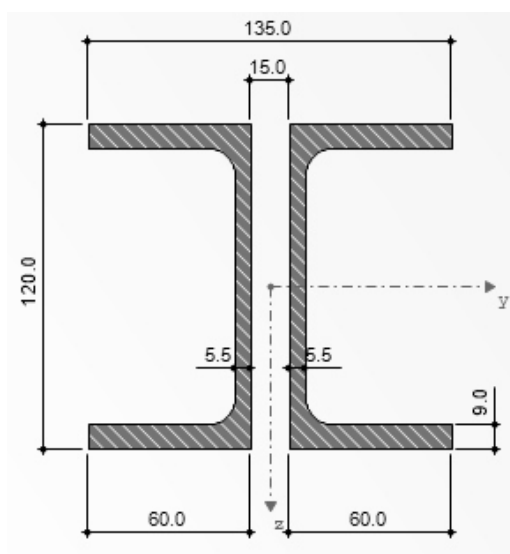
Vyhovuje

4.1.15 Podélné ztužidlo

DIAGONÁLY:

Navržena 2x UPE 120.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Plocha průřezu	A	3360,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	1168,800	mm ²
Smyková plocha	A _z	1075,300	mm ²
Moment setrvačnosti	I _y	7840000,000	mm ⁴
Moment setrvačnosti	I _z	3792090,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i _y	48,300	mm
Poloměr setrvačnosti	i _z	33,600	mm
Hmotnost průřezu	G	26,400	kg/m
Plocha pláště	A _{plášť}	0,920	m ² /m
Moment tuhosti v kroucení	I _t	448905,000	mm ⁴
Elastický průřezový modul	W _y	130667,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W _z	56179,200	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,y,max}	152847,000	mm ³
Plastický průřezový modul	W _{pl,z,max}	93867,700	mm ³

Vzpěrná délka: L_{cr,y} = L_{cr,z}

Vnitřní síly

	kombinace	prut	L _{cr} [m]	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
max. tah	KZ50	č. 2281	2,77	+425,5				
max. tlak	KZ50	č. 2282	3,36	-370,5				

Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3360 * 235}{1,0} = 789,6 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{425,5}{789,6} = 0,54 < 1$$

Vyhovuje

Posouzení na vzpěr

Lcr,y =	3360 mm	E =	210000 MPa
Iy =	7,84E+06 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	3360 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	370,5 kN		

iy =	48,30	(rce 1.01)	
λy =	69,56 < 200	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
Ncr,y =	1437858,33 N	(rce 1.03)	
λ' =	0,74	(rce 1.04)	
Φ =	0,91	(rce 1.05)	
χ =	0,70	(rce 1.06)	
Nby,Rd =	552,04 kN	(rce 1.07)	
Ned / Nb,Rd =	0,67 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

Lcr,z =	3360 mm	E =	210000 MPa
Iz =	3,79E+06 mm ⁴	fy =	235 MPa
A =	3360 mm ²	α =	0,49 křivka c
Ned =	370,5 kN		

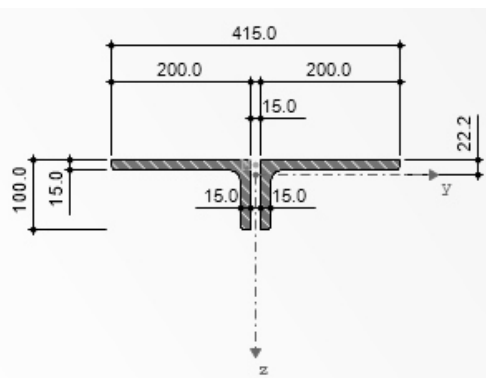
iz =	33,59	(rce 1.01)	
λz =	100,02 < 200	(rce 1.02)	<i>Vyhovuje</i>
Ncr,z =	695470,43 N	(rce 1.03)	
λ' =	1,07	(rce 1.04)	
Φ =	1,28	(rce 1.05)	
χ =	0,50	(rce 1.06)	
Nbz,Rd =	397,08 kN	(rce 1.07)	
Ned / Nb,Rd =	0,93 < 1	(rce 1.08)	<i>Vyhovuje</i>

DOLNÍ PÁS:

Navržena 2x L200x100x15.

Průřezová charakteristika	Symbol	Hodnota	Jednotky
Plocha průřezu	A	8600,000	mm ²
Smyková plocha	A _y	219,900	mm ²

Smyková plocha	A_z	1192,800	mm ²
Vzdálenost těžiště	e_z	22,200	mm
Moment setrvačnosti	I_y	5982000,000	mm ⁴
Moment setrvačnosti	I_z	88970000,000	mm ⁴
Polární moment setrvačnosti	I_p	94970000,000	mm ⁴
Poloměr setrvačnosti	i_y	26,400	mm
Poloměr setrvačnosti	i_z	101,700	mm
Hmotnost průřezu	G	67,500	kg/m
Plocha pláště	$A_{plášť}$	1,180	m ² /m
Elastický průřezový modul	$W_{y,max}$	76889,500	mm ³
Elastický průřezový modul	$W_{y,min}$	-269459,000	mm ³
Elastický průřezový modul	W_z	428764,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y,max}$	144442,000	mm ³
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z,max}$	680161,000	mm ³



Vzpěrná délka: $L_{cr,y} = \frac{1}{2} L_{cr}$
 $L_{cr,z} = L_{cr}$

Vnitřní síly

	kombinace	prut	L_{cr} [m]	N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
max. M	KZ50	č. 94	4,36	+1095,1	-0,6	0	0	-1,26
max. V	KZ49	č. 330	4,96	+645,1	0	1,3	0,5	0
max. tah	KZ14	č. 2271	4,68	+1107,7	0	0	0	-0,94
max. tlak	KZ49	č. 2384	3,34	-38,4	0	-0,9	0	0

Posouzení na tah

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8600 \cdot 235}{1,0} = 2021 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{1107,7}{2021} = 0,55 < 1$$

Vyhovuje

Posouzení na vzpěr

$L_{cr,y} =$	1670 mm	$E =$	210000 MPa
$I_y =$	5,98E+06 mm ⁴	$f_y =$	235 MPa
$A =$	8600 mm ²	$\alpha =$	0,49 křivka c
$N_{ed} =$	38,4 kN		

$i_y =$	26,37	(rce 1.01)
$\lambda_y =$	63,32 < 200	(rce 1.02)
$N_{cr,y} =$	4441115,39 N	(rce 1.03)

Vyhovuje

$\lambda' =$	0,67	(rce 1.04)	
$\Phi =$	0,84	(rce 1.05)	
$\chi =$	0,74	(rce 1.06)	
$N_{by,Rd} =$	1496,26 kN	(rce 1.07)	
$N_{ed} / N_{b,Rd} =$	0,03 < 1	(rce 1.08)	Vyhovuje

$L_{cr,z} =$	3340 mm	$E =$	210000 MPa
$I_z =$	8,90E+07 mm ⁴	$f_y =$	235 MPa
$A =$	8600 mm ²	$\alpha =$	0,49 křivka c
$N_{ed} =$	38,4 kN		
$i_z =$	101,71	(rce 1.01)	
$\lambda_z =$	32,84 < 200	(rce 1.02)	Vyhovuje
$N_{cr,z} =$	16513124,22 N	(rce 1.03)	
$\lambda' =$	0,35	(rce 1.04)	
$\Phi =$	0,60	(rce 1.05)	
$\chi =$	0,92	(rce 1.06)	
$N_{bz,Rd} =$	1866,50 kN	(rce 1.07)	
$N_{ed} / N_{b,Rd} =$	0,02 < 1	(rce 1.08)	Vyhovuje

4.1.16 Shrnutí průřezů

	HORNÍ PÁS	DOLNÍ PÁS	DIAGONÁLY
vazník „A“	120x120x7	120x120x4	120x120x4
vazník „B“	250x250x6	250x250x5	250x150x4
vazník „C“	350x350x12	350x250x6	350x250x6
vazník „D“	220x220x8	220x220x5	220x220x5
vazník „E“	160x160x10	160x160x6	160x80x5
sloup „A“	trubka ϕ 457x10		
sloup „C“	trubka ϕ 406,4x10		
sloup „D,E“	trubka ϕ 406,4x10		
sloupy ostatní	trubka ϕ 324x7		
vaznice	250x150x6		
prstenec	200x80x4		
paždíky	HEB 120		
příčné ztužidlo	Macalloy 460 – M30		
podélné ztužidlo		2x L 200x100x15	2x UPE 120

4.2 Posouzení mezního stavu použitelnosti

Svislé průhyby:

- největší globální deformace na prutech od charakteristické kombinace KZ120 a KZ155

Vodorovné průhyby:

- největší globální deformace na prutech od charakteristické kombinace KZ171

Název	Mezní hodnoty				Svislý průhyb	Vodorovný průhyb	od kombinace	
	$\delta_{lim} =$	L [mm]	δ_{lim} [mm]		δ [mm]	δ [mm]		
vazník "A"	L/250	16800	67,2	>	31,0		KZ120	Vyhovuje
vazník "B"	L/250	28970	115,9	>	31,0		KZ120	Vyhovuje
vazník "C"	L/250	45430	181,7	>	84,3		KZ120	Vyhovuje
vazník "D"	L/250	40700	162,8	>	76,4		KZ120	Vyhovuje
vazník "E"	L/250	27270	109,1	>	68,7		KZ120	Vyhovuje
sloup "A"	L/250	13700	54,8	>		16,2	KZ171	Vyhovuje
sloup "C"	L/250	12500	50,0	>		17,1	KZ171	Vyhovuje
sloup "D,E"	L/250	11500	46,0	>		19,2	KZ171	Vyhovuje
sloup ostatní	L/250	10000	40,0	>		21,9	KZ171	Vyhovuje
vaznice	L/200	4960	24,8	>	3,1		KZ120	Vyhovuje
prstenec	L/200	5000	25,0	>	7,9		KZ155	Vyhovuje
paždíky	L/250	5000	20,0	>		5,4	KZ171	Vyhovuje

5 Detaily

V této práci jsou řešeny tyto detaily:

A – přípoj vaznice a podélného ztužidla,

B – přípoj paždíku,

C – přípoj vazníku „A“ k vazníku „B“,

D – přípoj vazníku „B“ k vazníku „C“,

E – přípoj vazníku „A“ ke sloupu, přípoj prstence ke sloupu,

F – montážní spoj vazníku,

K1, K2, K3 – kotvení.

Označení detailů viz výkres č. C1,C2.

5.1 Kotvení hlavních sloupů – K1

Železobetonová patka je z betonu C20/25 a oceli B500B. Podlití patky je 50 mm.

Kotvení K1 pro sloupy pod vazníky „C,D,E“ $\phi 406,4 \times 14$.

Návrhové vnitřní síly: 1) KZ49: $N_{Ed,max} = 559,4 \text{ kN}$ (*max. tlak*)

$$M_{Ed} = 50,1 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 24,9 \text{ kN}$$

2) KZ63: $N_{Ed} = -82,6 \text{ kN}$ (*tah*)

$$M_{Ed,max} = 93 \text{ kN}$$

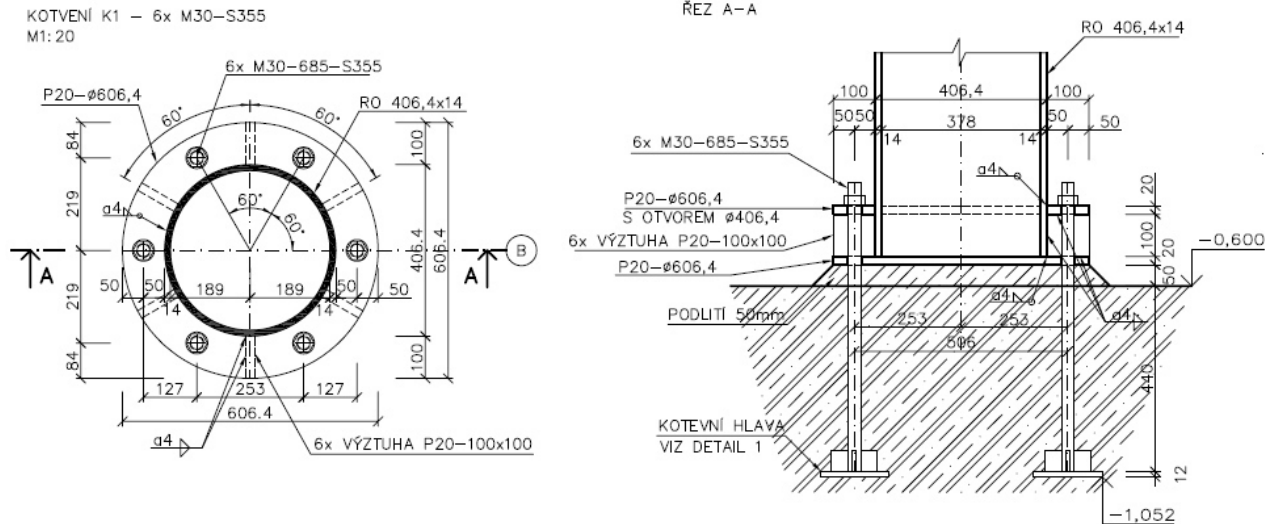
$$V_{Ed,max} = 49 \text{ kN}$$

3) KZ60: $N_{Ed,min} = -91,5 \text{ kN}$ (*max. tah*)

$$M_{Ed} = 91,5 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 48,6 \text{ kN}$$

Navržen 2x patní plech P20- $\phi 606,4$, výztuhy mezi plechy 8x P20-100x100.



Obrázek 11: Kotvení K1

5.1.1 Posouzení betonu na tlak

Posouzení kombinace 1):

$$e = \frac{M}{N} = \frac{50,1}{559,4} = 89,6 \text{ mm}$$

$$\frac{e}{d} = \frac{89,6}{606,4} = 0,15 \rightarrow \xi = 1$$

$$x = d * \xi = 606,4 * 1 = 606,4 \text{ mm} \rightarrow \text{celá plocha patky je tlačená}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

$$f_{Rdu} = f_{cd} * k_j = 13,33 * 1,5 = 19,995 \text{ MPa}$$

$$f_{jd} = \beta_j * f_{Rdu} = \frac{2}{3} * 19,995 = 13,33 \text{ MPa}$$

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_y}{3 * \gamma_{M0} * f_{jd}}} = 20 * \sqrt{\frac{235}{3 * 1,0 * 13,33}} = 48,5 \text{ mm}$$

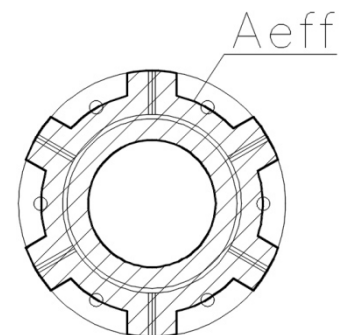
$$A_{eff} = 233878,5439 - 65778,9497 = 168099,6 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 4497341450 - 344321392 = 4153020058 \text{ mm}^4$$

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 168099,6 * 13,33 = 2240,77 \text{ kN} > N_{Ed} = 559,4 \text{ kN}$$

Vyhovuje

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M}{I_y} * z = \frac{559,4 * 10^3}{168099,6} + \frac{50,1 * 10^6}{4153020058} * 303,2 = 6,99 \text{ MPa} \leq f_{jd} = 13,33 \text{ MPa}$$



Obrázek 12: Efektivní plocha

Posouzení patního plechu:

$$\sigma_p = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{559400}{20 * 606,4} = 46,1 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

1.MS:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{cr}}{W} \rightarrow M_{cr} = \sigma_{max} * W = 235 * \frac{1}{6} * 439 * 20^2 = 6,88 \text{ kNm}$$

$$M = \frac{1}{4} * F * l = \frac{1}{4} * 91,5 * 0,253 = 5,79 \text{ kNm} < M_{cr}$$

Vyhovuje

Posouzení kombinace 2):

$$e = \frac{M}{N} = \frac{93}{82,6} = 1126 \text{ mm}$$

$$\frac{e}{d} = \frac{1126}{606,4} = 1,86 \rightarrow \xi = 0,333$$

$$x = d * \xi = 606,4 * 0,333 = 201,9 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

$$f_{Rdu} = f_{cd} * k_j = 13,33 * 1,5 = 19,995 \text{ MPa}$$

$$f_{jd} = \beta_j * f_{Rdu} = \frac{2}{3} * 19,995 = 13,33 \text{ MPa}$$

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_y}{3 * \gamma_{M0} * f_{jd}}} = 20 * \sqrt{\frac{235}{3 * 1,0 * 13,33}} = 48,5 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = 55363,6775 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 55363,6775 * 13,33 = 738 \text{ kN}$$

Určení maximálního napětí v betonu:

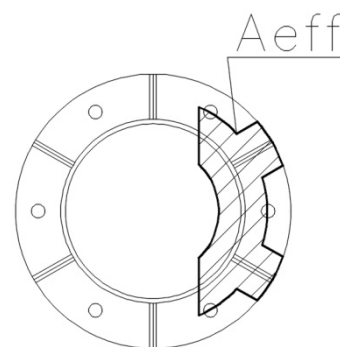
$$r = d - a - \frac{x}{3} = 606,4 - 50 - \frac{201,9}{3} = 489,1 \text{ mm}$$

$$V_D = \frac{N * (e + \frac{d}{2} - a)}{r} = \frac{82,6 * (1126 + \frac{606,4}{2} - 50)}{489,1} = 232,9 \text{ kN}$$

$$\sigma_{b,max} = \frac{2 * V_D}{x * d} = \frac{2 * 232,9}{201,9 * 606,4} = 3,8 \text{ MPa} < f_{jd} = 13,33 \text{ MPa}$$

Šrouby na tažené straně:

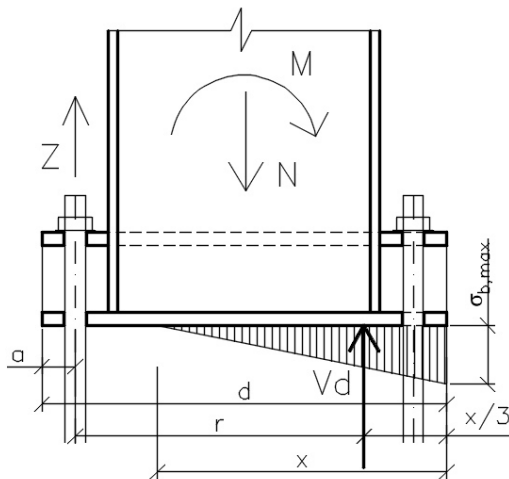
$$Z = V_D - N = 232,9 + 82,6 = 315,5 \text{ kN}$$



Obrázek 13: Efektivní plocha 2

$$Z_1 = 1,2 * \frac{Z}{n} = 1,2 * \frac{315,5}{3} = 126,2 \text{ kN} < f_{y,b} * \frac{A_s}{\gamma_{Mb}} = 355 * \frac{561}{1,25} = 159,3 \text{ kN}$$

Navrženy šrouby **M30-S355**



Obrázek 14: Max. napětí v betonu

Posouzení kombinace 3):

$$e = \frac{M}{N} = \frac{91,5}{91,5} = 1000 \text{ mm}$$

$$\frac{e}{d} = \frac{1000}{606,4} = 1,65 \rightarrow \xi = 0,333$$

$$x = d * \xi = 606,4 * 0,333 = 201,9 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = 55363,6775 \text{ mm}^2$$

$$N_{Ra} = A_{eff} * f_{jd} = 55363,6775 * 13,33 = 738 \text{ kN}$$

Určení maximálního napětí v betonu:

$$r = d - a - \frac{x}{3} = 606,4 - 50 - \frac{201,9}{3} = 489,1 \text{ mm}$$

$$V_D = \frac{N * (e + \frac{d}{2} - a)}{r} = \frac{91,5 * (1000 + \frac{606,4}{2} - 50)}{489,1} = 234,4 \text{ kN}$$

$$\sigma_{b,max} = \frac{2 * V_D}{x * d} = \frac{2 * 234,4}{201,9 * 606,4} = 3,8 \text{ MPa} < f_{jd} = 13,33 \text{ MPa}$$

Šrouby na tažené straně:

$$Z = V_D - N = 234,4 + 91,5 = 325,9 \text{ kN}$$

$$Z_1 = 1,2 * \frac{Z}{n} = 1,2 * \frac{325,9}{3} = 130,4 \text{ kN} < f_{y,b} * \frac{A_s}{\gamma_{Mb}} = 355 * \frac{561}{1,25} = 159,3 \text{ kN}$$

Navrženy šrouby **M30-S355**

5.1.2 Posouzení svaru mezi patním plechem a sloupem

Navržen patní plech **P20 – $\phi 606,4$** a obvodový svar výšky $a=4$ mm a délky:

$$L_{\perp} = 2\pi r + 6 \cdot 2 \cdot (L - 2a) = 2\pi \cdot 203,2 + 12 \cdot (100 - 2a) = 2380,7 \text{ mm}$$

$$L_{\parallel} = 2 \cdot (L - 2a) = 2 \cdot (100 - 2a) = 184 \text{ mm}$$

$$\tau_{\perp N} = \sigma_{\perp N} = \frac{N_{Ed}}{a \cdot L \cdot \sqrt{2}} = \frac{559400}{4 \cdot 2380,7 \cdot \sqrt{2}} = 41,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel V} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a \cdot L} = \frac{49000}{2 \cdot 4 \cdot 184} = 33,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_M = \frac{M}{W} = \frac{93 \cdot 10^6}{859505,6} = 108,2 \text{ MPa}$$

$$W = \frac{I_y}{z} = \frac{260516137}{303,1} = 859505,6 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 1599528835,875 - 1339012698,8399 = 260516137 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{108,2}{\sqrt{2}} = 76,5 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{118^2 + 3 \cdot 118^2 + 3 \cdot 33,3^2} = 242,9 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{MW}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 118 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{MW}} = \frac{360}{1,25} = 288 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Svar výztuh:

Navržen 2x koutový svar výšky $a=4$ mm a délky $L = 100 - 2a = 92$ mm

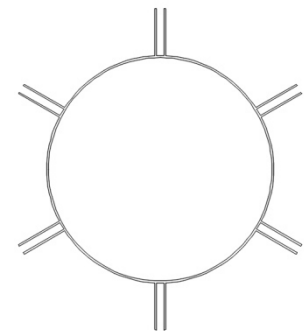
$$\tau_{\parallel N} = \frac{N_{Ed}}{6 \cdot 2 \cdot a \cdot L} = \frac{559400}{6 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 92} = 126,7 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{3 \cdot 126,7^2} = 219,5 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{MW}} = 360 \text{ MPa}$$

5.1.3 Přenos vodorovných sil

$$N_{c+} = \frac{(\% \text{ utažení}) \cdot A_s \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,6 \cdot 561 \cdot 355}{1,0} = 119,5 \text{ kN}$$

Rozhoduje kombinace 2) \rightarrow



Obrázek 15: I_y pro svar

$$\mu * (N_{c+} + N_c) = 0,2 * (119,5 + 684,6) = 160,8 \text{ kN} > V_{max} = 49 \text{ kN}$$

\rightarrow vyhoví na přenos sil třením, není nutné navrhovat smykovou zarážku

5.1.4 Posouzení šroubů

Navrženy kotevní šrouby M30 – S355

Posouzení vzdáleností:

$$d_0 = 33 \text{ mm}$$

$$e_{1,min} = e_{2,min} = 1,2 * d_0 = 39,6 \text{ mm} < 50 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2 * d_0 = 72,6 \text{ mm} < 438,5 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4 * d_0 = 79,2 \text{ mm} < 253,2 \text{ mm}$$

Posouzení na tah a protlačení:

$$N_{(1\text{šroub})} = 130,4 \text{ kN} \leftrightarrow \text{síla ve šroubu na tažené straně z posouzení komb. 3}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 490 * 561}{1,25} = 197,9 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 * \pi * f_u * d_m * t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * \pi * 360 * 49,6 * 20}{1,25} = 538,5 \text{ kN}$$

$$\min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd}) = 197,9 \text{ kN} > N_{1\text{š}} = 130,6 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Vliv páčení:

$$t = 20 \neq t_e = 4,3 * \sqrt[3]{\frac{b * d^2}{a}} = 4,3 * \sqrt[3]{\frac{50 * 30^2}{50}} = 41,5 \rightarrow \text{nevyhovuje, nutno zohlednit páčení}$$

$$\rightarrow \gamma = \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} * 0,005 + 1 = \frac{41,5^3 - 20^3}{30^2} * 0,005 + 1 = 1,353$$

$$\gamma * N_{1\text{š}} = 1,353 * 130,6 = 176,7 \text{ kN} \leq \min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd}) = 197,9 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost ve střihu a otlačení:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A * n}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6 * 490 * 707 * 1}{1,25} = 166,3 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{Mb}} = \frac{2,5 * 0,51 * 360 * 33 * 20}{1,25} = 242,4 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{50}{33} - 1,7; 1,4 \frac{253}{33} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{50}{3 * 33}; \frac{438}{3 * 33} - 0,25; \frac{600}{360}; 1\right) = 0,51$$

$$F_1 = \frac{49}{6} = 8,2 \text{ kN} < \min(F_{V,Rd}, F_{b,Rd}) = 166,3 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost oslabeného průřezu:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 6020 * 360}{1,25} = 1560,4 \text{ kN}$$

$$A_{net} = 334 * 20 - 1 * 33 * 20 = 6020 \text{ mm}^2$$

$$\frac{V_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{49}{1560,4} = 0,031 < 1,0$$

Účinná hloubka šroubu s kotevní hlavou:

Plocha kotevní hlavy

$$A_{kot.hl.} = 0,8 * A_s \frac{0,8 * f_y}{\gamma_{M0} * f_{od}} + \frac{\pi d^2}{4} = 0,8 * 561 * \frac{0,8 * 355}{1 * 13,33} + \frac{\pi * 30^2}{4} = 10268,7 \text{ mm}^2$$

$$f_{od} = \frac{f_{ok}}{\gamma_c} = 13,33 \text{ MPa} - \text{únosnost v otláčení betonu}$$

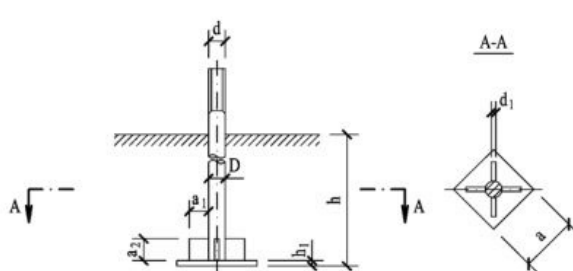
$$f_{td} = \frac{f_{tk}}{\gamma_c} = 1,47 \text{ MPa} - \text{únosnost betonu v tahu a soudržnosti}$$

$$\Delta h = \left(\frac{4 * A_{kot.hl.}}{\pi d^2} - 1 \right) \frac{f_{od}}{4 * f_{td}} * d = 920 \text{ mm}$$

$$h \geq 0,2 * N_{t,max} / \pi d * f_{td} = 407,4 \text{ mm} < \Delta h$$

Vyhovuje

→ Navrženy kotevní šrouby 6x M30 - 440 – S355



Závit d	Průměr dířku D (mm)	Únosnost F_{Rd} (kN)	Minimální hloubka h (mm)	Kotevní hlava				
				a (mm)	h_1 (mm)	a_1 (mm)	a_2 (mm)	d_1 (mm)
M 30	32	87,56	360	95	10	40	50	6
M 36x3	40	134,25	440	115	12	40	50	8
M 42x3	45	187,76	550	135	15	40	50	
M 48x3	50	250,02	660	155	15	50	60	
M 56x4	60	333,69	730	180	20	60	70	

Obrázek 16: Kotevní hlava

5.2 Kotvení hlavních sloupů – K2

Železobetonová patka je z betonu C20/25 a oceli B500B. Podlité patky je 50 mm.

Kotvení K2 pro sloupky pod vazníky „A“ $\phi 457 \times 14$.

Návrhové vnitřní síly: 1) KZ14: $N_{Ed,max} = 141,3 \text{ kN (max. tlak)}$

$$M_{Ed} = 67,4 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 9,9 \text{ kN}$$

2) KZ63: $N_{Ed} = 62,4 \text{ kN (tlak)}$

$$M_{Ed,max} = 84,7 \text{ kN}$$

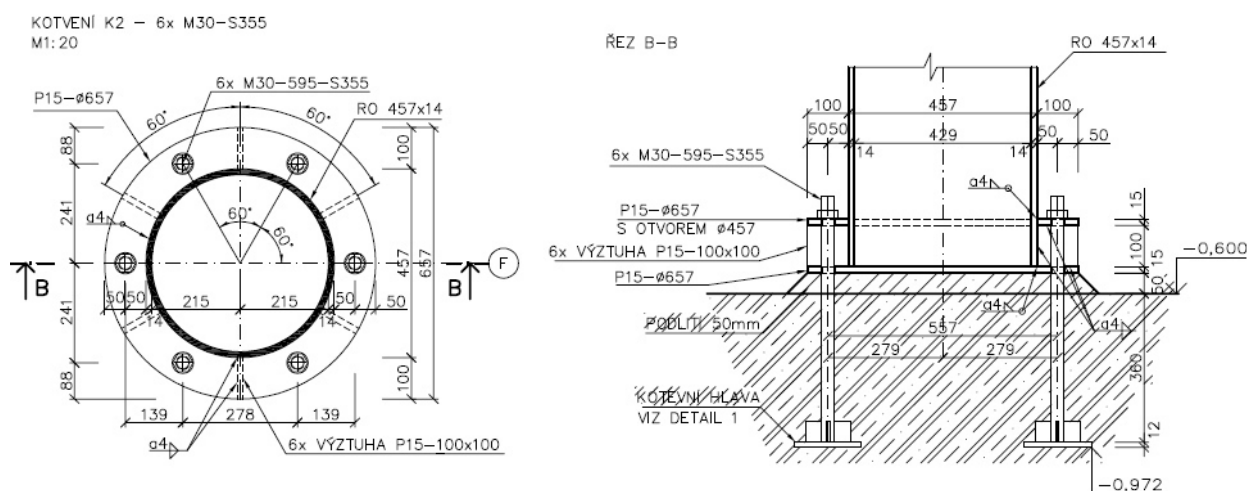
$$V_{Ed,max} = 23,2 \text{ kN}$$

3) KZ61: $N_{Ed,min} = -43,7 \text{ kN (max. tah)}$

$$M_{Ed} = 14,3 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 2,6 \text{ kN}$$

Navržen 2x patní plech P15- $\phi 657$, výztuhy mezi plechy 8x P15-100x100.



Obrázek 17: Kotvení K2

5.2.1 Posouzení betonu na tlak

Posouzení kombinace 1):

$$e = \frac{M}{N} = \frac{67,4}{141,3} = 477 \text{ mm}$$

$$\frac{e}{d} = \frac{477}{657} = 0,73 \rightarrow \xi = 0,555$$

$$x = d * \xi = 657 * 0,555 = 364,6 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

$$f_{Rdu} = f_{cd} * k_j = 13,33 * 1,5 = 19,995 \text{ MPa}$$

$$f_{jd} = \beta_j * f_{Rdu} = \frac{2}{3} * 19,995 = 13,33 \text{ MPa}$$

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_y}{3 * \gamma_{M0} * f_{jd}}} = 15 * \sqrt{\frac{235}{3 * 1,0 * 13,33}} = 36,4 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = 85561,2819 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 85561,2819 * 13,33 = 1140,5 \text{ kN} > N_{Ed} = 141,3 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Určení maximálního napětí v betonu:

$$r = d - a - \frac{x}{3} = 657 - 50 - \frac{364,6}{3} = 485,5 \text{ mm}$$

$$V_D = \frac{N * (e + \frac{d}{2} - a)}{r} = \frac{141,3 * (477 + \frac{657}{2} - 50)}{485,5} = 219,9 \text{ kN}$$

$$\sigma_{b,max} = \frac{2 * V_D}{x * d} = \frac{2 * 219,9}{364,6 * 657} = 1,8 \text{ MPa} < f_{jd} = 13,33 \text{ MPa}$$

Šrouby na tažené straně:

$$Z = V_D - N = 219,9 - 141,3 = 78,6 \text{ kN}$$

$$Z_1 = 1,2 * \frac{Z}{n} = 1,2 * \frac{78,6}{3} = 31,4 \text{ kN} < f_{y,b} * \frac{A_s}{\gamma_{Mb}} = 355 * \frac{561}{1,25} = 159,3 \text{ kN}$$

Navrženy šrouby M30-S355

Posouzení patního plechu:

$$\sigma_p = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{141300}{15 * 657} = 14,3 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

1.MS:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{cr}}{W} \rightarrow M_{cr} = \sigma_{max} * W = 235 * \frac{1}{6} * 482,4 * 15^2 = 4,25 \text{ kNm}$$

$$M = \frac{1}{4} * F * l = \frac{1}{4} * 43,7 * 0,2785 = 3,04 \text{ kNm} < M_{cr}$$

Vyhovuje

Posouzení kombinace 2):

$$e = \frac{M}{N} = \frac{84,7}{62,4} = 1357 \text{ mm}$$

$$\frac{e}{d} = \frac{1357}{657} = 2,1 \rightarrow \xi = 0,333$$

$$x = d * \xi = 657 * 0,333 = 218,8 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

$$f_{Rdu} = f_{cd} * k_j = 13,33 * 1,5 = 19,995 \text{ MPa}$$

$$f_{jd} = \beta_j * f_{Rdu} = \frac{2}{3} * 19,995 = 13,33 \text{ MPa}$$

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_y}{3 * \gamma_{M0} * f_{jd}}} = 15 * \sqrt{\frac{235}{3 * 1,0 * 13,33}} = 36,4 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = 50319,0137 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 50319,0137 * 13,33 = 670,8 \text{ kN} < N_{Ed} = 62,4 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Určení maximálního napětí v betonu:

$$r = d - a - \frac{x}{3} = 657 - 50 - \frac{218,8}{3} = 534,1 \text{ mm}$$

$$V_D = \frac{N * (e + \frac{d}{2} - a)}{r} = \frac{62,4 * (1357 + \frac{657}{2} - 50)}{534,1} = 191,1 \text{ kN}$$

$$\sigma_{b,max} = \frac{2 * V_D}{x * d} = \frac{2 * 191,1}{218,8 * 657} = 2,66 \text{ MPa} < f_{jd} = 13,33 \text{ MPa}$$

Šrouby na tažené straně:

$$Z = V_D - N = 191,1 - 62,4 = 128,7 \text{ kN}$$

$$Z_1 = 1,2 * \frac{Z}{n} = 1,2 * \frac{128,7}{3} = 51,5 \text{ kN} < f_{y,b} * \frac{A_s}{\gamma_{Mb}} = 355 * \frac{561}{1,25} = 159,3 \text{ kN}$$

Navrženy šrouby M30-S355

Posouzení kombinace 3):

$$e = \frac{M}{N} = \frac{14,3}{43,7} = 327,2 \text{ mm}$$

$$\frac{e}{d} = \frac{327,2}{657} = 0,5 \rightarrow \xi = 0,666$$

$$x = d * \xi = 657 * 0,666 = 437,6 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

$$f_{Rdu} = f_{cd} * k_j = 13,33 * 1,5 = 19,995 \text{ MPa}$$

$$f_{jd} = \beta_j * f_{Rdu} = \frac{2}{3} * 19,995 = 13,33 \text{ MPa}$$

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_y}{3 * \gamma_{M0} * f_{jd}}} = 15 * \sqrt{\frac{235}{3 * 1,0 * 13,33}} = 36,4 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = 99470,9602 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 99470,9602 * 13,33 = 1326 \text{ kN}$$

Určení maximálního napětí v betonu:

$$r = d - a - \frac{x}{3} = 657 - 50 - \frac{437,6}{3} = 461,1 \text{ mm}$$

$$V_D = \frac{N * (e + \frac{d}{2} - a)}{r} = \frac{43,7 * (327,2 + \frac{657}{2} - 50)}{461,1} = 57,4 \text{ kN}$$

$$\sigma_{b,max} = \frac{2 * V_D}{x * d} = \frac{2 * 57,4}{437,6 * 657} = 0,4 \text{ MPa} < f_{jd} = 13,33 \text{ MPa}$$

Šrouby na tažené straně:

$$Z = V_D - N = 57,4 + 43,7 = 101,1 \text{ kN}$$

$$Z_1 = 1,2 * \frac{Z}{n} = 1,2 * \frac{101,1}{3} = 40,4 \text{ kN} < f_{y,b} * \frac{A_s}{\gamma_{Mb}} = 355 * \frac{561}{1,25} = 159,3 \text{ kN}$$

Navrženy šrouby M30-S355

5.2.2 Posouzení svaru mezi patním plechem a sloupem

Navržen patní plech **P15** – $\phi 657$ a obvodový svar výšky $a=4$ mm a délky:

$$L_{\perp} = 2\pi r + 6 * 2 * (L - 2a) = 2\pi * 228,5 + 12 * (100 - 2a) = 2539,7 \text{ mm}$$

$$L_{\parallel} = 2 * (L - 2a) = 2 * (100 - 2a) = 184 \text{ mm}$$

$$\tau_{\perp N} = \sigma_{\perp N} = \frac{N_{Ed}}{a * L * \sqrt{2}} = \frac{141300}{4 * 2539,7 * \sqrt{2}} = 9,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel V} = \frac{V_{Ed}}{2 * a * L} = \frac{23200}{2 * 4 * 184} = 15,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = \frac{M}{W} = \frac{84,7 * 10^6}{1026242,9} = 82,5 \text{ MPa}$$

$$W = \frac{I_y}{z} = \frac{337018168,6}{328,4} = 1026242,9 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 2478107063.8664 - 2141088895.2795 = 337018168,6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{82,5}{\sqrt{2}} = 58,4 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{68,2^2 + 3 * 68,2^2 + 3 * 15,8^2} = 139,1 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{MW}} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 68,2 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{MW}} = 288 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Svar výztuh:

Navržen 2x koutový svar výšky $a=4 \text{ mm}$ a délky $L = 100 - 2a = 92 \text{ mm}$

$$\tau_{\parallel N} = \frac{N_{Ed}}{6 * 2 * a * L} = \frac{141300}{6 * 2 * 4 * 92} = 32 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{3 * 32^2} = 55,4 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{MW}} = 360 \text{ MPa}$$

5.2.3 Přenos vodorovných sil

$$N_{c+} = \frac{(\% \text{ utažení}) * A_s * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,6 * 561 * 355}{1,0} = 119,5 \text{ kN}$$

$$\mu * (N_{c+} + N_c) = 0,2 * (119,5 + 670,8) = 158,1 \text{ kN} > V_{max} = 23,2 \text{ kN}$$

\rightarrow vyhoví na přenos sil třením, není nutné navrhovat smykovou zarážku

5.2.4 Posouzení šroubů

Navrženy kotevní šrouby M30 – S355

Posouzení vzdáleností:

$$d_0 = 33 \text{ mm}$$

$$e_{1,min} = e_{2,min} = 1,2 * d_0 = 39,6 \text{ mm} < 50 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2 * d_0 = 72,6 \text{ mm} < 482,4 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4 * d_0 = 79,2 \text{ mm} < 278,5 \text{ mm}$$

Posouzení na tah a protlačení:

$$N_{(1 \text{ šroub})} = 51,5 \text{ kN} \leftrightarrow \text{síla ve šroubu na tažené straně z posouzení komb. 2}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 490 * 561}{1,25} = 197,9 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 * \pi * f_u * d_m * t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * \pi * 360 * 49,6 * 15}{1,25} = 403,9 \text{ kN}$$

$$\min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd}) = 197,9 \text{ kN} > N_{1\text{s}} = 51,5 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Vliv páčení:

$$t = 15 \geq t_e = 4,3 * \sqrt[3]{\frac{b * d^2}{a}} = 4,3 * \sqrt[3]{\frac{50 * 30^2}{50}} = 41,5 \rightarrow \text{nevyhovuje, nutno zohlednit páčení}$$

$$\rightarrow \gamma = \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} * 0,005 + 1 = \frac{41,5^3 - 15^3}{30^2} * 0,005 + 1 = 1,38$$

$$\gamma * N_{1\text{s}} = 1,38 * 51,5 = 71,1 \text{ kN} \leq \min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd}) = 197,9 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost ve střihu a otláčení:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A * n}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6 * 490 * 707 * 1}{1,25} = 166,3 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{Mb}} = \frac{2,5 * 0,51 * 360 * 33 * 15}{1,25} = 151,5 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{50}{33} - 1,7; 1,4 \frac{278,5}{33} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{50}{3 * 33}; \frac{482,4}{3 * 33} - 0,25; \frac{600}{360}; 1\right) = 0,51$$

$$F_1 = \frac{23,2}{6} = 3,9 \text{ kN} < \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd}) = 151,5 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost oslabeného průřezu:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 4737 * 360}{1,25} = 1227,8 \text{ kN}$$

$$A_{net} = 348,8 * 15 - 1 * 33 * 15 = 4737 \text{ mm}^2$$

$$\frac{V_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{23,2}{1227,8} = 0,02 < 1,0$$

Účinná hloubka šroubu s kotevní hlavou:

Plocha kotevní hlavy

$$A_{kot.hl.} = 0,8 * A_s \frac{0,8 * f_y}{\gamma_{M0} * f_{od}} + \frac{\pi d^2}{4} = 0,8 * 561 * \frac{0,8 * 355}{1 * 13,33} + \frac{\pi * 30^2}{4} = 10268,7 \text{ mm}^2$$

$$f_{od} = \frac{f_{ok}}{\gamma_c} = 13,33 \text{ MPa} - \text{únosnost v otláčení betonu}$$

$$f_{td} = \frac{f_{tk}}{\gamma_c} = 1,47 \text{ MPa} - \text{únosnost betonu v tahu a soudržnosti}$$

$$\Delta h = \left(\frac{4 * A_{kot.hl.}}{\pi d^2} - 1 \right) \frac{f_{od}}{4 * f_{td}} * d = 920 \text{ mm}$$

$$h \geq 0,2 * N_{t,max} / \pi d * f_{td} = 160,7 \text{ mm} < \Delta h$$

Vyhovuje

→ Navrženy kotevní šrouby 6x M30 - 360 – S355

5.3 Kotvení sloupů – K3

Železobetonová patka je z betonu C20/25 a oceli B500B. Podlití patky je 50 mm.

Kotvení K3 pro sloupy ostatní $\phi 324 \times 14$.

Návrhové vnitřní síly: 1) KZ49: $N_{Ed,max} = 52,7 \text{ kN (max. tlak)}$

$$M_{Ed} = 24 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 11,1 \text{ kN}$$

2) KZ62: $N_{Ed,min} = -5,1 \text{ kN (max. tah)}$

$$M_{Ed} = 5,9 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 1,6 \text{ kN}$$

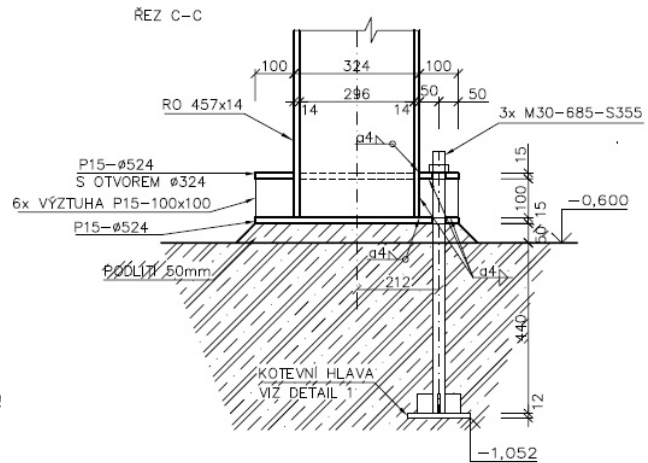
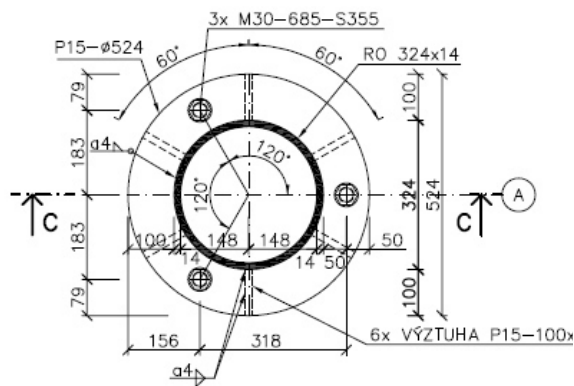
3) KZ63: $N_{Ed} = 30,7 \text{ kN (tlak)}$

$$M_{Ed,max} = 52,8 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max} = 21,8 \text{ kN}$$

Navržen 2x patní plech P15- $\phi 524$, výztuhy mezi plechy 8x P15-100x100.

KOTVENÍ K3 – 3x M30–S355
M1: 20



Obrázek 18: Kotvení K3

5.3.1 Posouzení betonu na tlak

Posouzení kombinace 1):

$$e = \frac{M}{N} = \frac{24}{52,7} = 455,4 \text{ mm}$$

$$\frac{e}{d} = \frac{455,4}{524} = 0,87 \rightarrow \xi = 0,45$$

$$x = d * \xi = 524 * 0,45 = 235,8 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

$$f_{Rdu} = f_{cd} * k_j = 13,33 * 1,5 = 19,995 \text{ MPa}$$

$$f_{jd} = \beta_j * f_{Rdu} = \frac{2}{3} * 19,995 = 13,33 \text{ MPa}$$

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_y}{3 * \gamma_{M0} * f_{jd}}} = 15 * \sqrt{\frac{235}{3 * 1,0 * 13,33}} = 36,4 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = 49369,3909 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 49369,3909 * 13,33 = 658,1 \text{ kN} > N_{Ed} = 52,7 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Určení maximálního napětí v betonu:

$$r = d - a - \frac{x}{3} = 524 - 50 - \frac{235,8}{3} = 395,4 \text{ mm}$$

$$V_D = \frac{N * (e + \frac{d}{2} - a)}{r} = \frac{52,7 * (455,4 + \frac{524}{2} - 50)}{395,4} = 89 \text{ kN}$$

$$\sigma_{b,max} = \frac{2 * V_D}{x * d} = \frac{2 * 89}{235,8 * 524} = 1,4 \text{ MPa} < f_{jd} = 13,33 \text{ MPa}$$

Šrouby na tažené straně:

$$Z = V_D - N = 89 - 52,7 = 36,3 \text{ kN}$$

$$Z_1 = 1,2 * \frac{Z}{n} = 1,2 * \frac{36,3}{1} = 43,6 \text{ kN} < f_{y,b} * \frac{A_s}{\gamma_{Mb}} = 355 * \frac{561}{1,25} = 159,3 \text{ kN}$$

Navrženy šrouby M30-S355

Posouzení patního plechu:

$$\sigma_p = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{52700}{15 * 524} = 6,7 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

1.MS:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{cr}}{W} \rightarrow M_{cr} = \sigma_{max} * W = 235 * \frac{1}{6} * 183,6 * 15^2 = 1,62 \text{ kNm}$$

$$M = \frac{1}{4} * F * l = \frac{1}{4} * 5,1 * 0,318 = 0,41 \text{ kNm} < M_{cr}$$

Vyhovuje

Posouzení kombinace 2):

$$e = \frac{M}{N} = \frac{5,9}{5,1} = 1157 \text{ mm}$$

$$\frac{e}{d} = \frac{1157}{524} = 2,21 \rightarrow \xi = 0,333$$

$$x = d * \xi = 524 * 0,333 = 174,5 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

$$f_{Rdu} = f_{cd} * k_j = 13,33 * 1,5 = 19,995 \text{ MPa}$$

$$f_{jd} = \beta_j * f_{Rdu} = \frac{2}{3} * 19,995 = 13,33 \text{ MPa}$$

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_y}{3 * \gamma_{M0} * f_{jd}}} = 15 * \sqrt{\frac{235}{3 * 1,0 * 13,33}} = 36,4 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = 36265,8008 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 36265,8008 * 13,33 = 483,4 \text{ kN}$$

Určení maximálního napětí v betonu:

$$r = d - a - \frac{x}{3} = 524 - 50 - \frac{174,5}{3} = 415,8 \text{ mm}$$

$$V_D = \frac{N * (e + \frac{d}{2} - a)}{r} = \frac{5,1 * (1157 + \frac{524}{2} - 50)}{415,8} = 16,8 \text{ kN}$$

$$\sigma_{b,max} = \frac{2 * V_D}{x * d} = \frac{2 * 16,8}{174,5 * 524} = 0,37 \text{ MPa} < f_{jd} = 13,33 \text{ MPa}$$

Šrouby na tažené straně:

$$Z = V_D - N = 16,8 + 5,1 = 21,9 \text{ kN}$$

$$Z_1 = 1,2 * \frac{Z}{n} = 1,2 * \frac{21,9}{1} = 26,28 \text{ kN} < f_{y,b} * \frac{A_s}{\gamma_{Mb}} = 355 * \frac{561}{1,25} = 159,3 \text{ kN}$$

Navrženy šrouby M30-S355

Posouzení kombinace 3):

$$e = \frac{M}{N} = \frac{52,8}{30,7} = 1720 \text{ mm}$$

$$\frac{e}{d} = \frac{1720}{524} = 3,28 \rightarrow \xi = 0,333$$

$$x = d * \xi = 524 * 0,333 = 174,5 \text{ mm}$$

→ obdobně jako pro kombinaci 2) →

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 36265,8008 * 13,33 = 483,4 \text{ kN} < N_{Ed} = 30,4 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Určení maximálního napětí v betonu:

$$r = d - a - \frac{x}{3} = 524 - 50 - \frac{174,5}{3} = 415,8 \text{ mm}$$

$$V_D = \frac{N * (e + \frac{d}{2} - a)}{r} = \frac{30,7 * (1720 + \frac{524}{2} - 50)}{415,8} = 142,6 \text{ kN}$$

$$\sigma_{b,max} = \frac{2 * V_D}{x * d} = \frac{2 * 142,6}{174,5 * 524} = 3,12 \text{ MPa} < f_{jd} = 13,33 \text{ MPa}$$

Šrouby na tažené straně:

$$Z = V_D - N = 142,6 - 30,7 = 111,9 \text{ kN}$$

$$Z_1 = 1,2 * \frac{Z}{n} = 1,2 * \frac{111,9}{1} = 134,3 \text{ kN} < f_{y,b} * \frac{A_s}{\gamma_{Mb}} = 355 * \frac{561}{1,25} = 159,3 \text{ kN}$$

Navrženy šrouby M30-S355

5.3.2 Posouzení svaru mezi patním plechem a sloupem

Navržen patní plech **P15** – $\phi 524$ a obvodový svar výšky $a=4$ mm a délky:

$$L_{\perp} = 2\pi r + 6 \cdot 2 \cdot (L - 2a) = 2\pi \cdot 162 + 12 \cdot (100 - 2a) = 2121,9 \text{ mm}$$

$$L_{\parallel} = 2 \cdot (L - 2a) = 2 \cdot (100 - 2a) = 184 \text{ mm}$$

$$\tau_{\perp N} = \sigma_{\perp N} = \frac{N_{Ed}}{a \cdot L \cdot \sqrt{2}} = \frac{52700}{4 \cdot 2121,9 \cdot \sqrt{2}} = 4,4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel V} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a \cdot L} = \frac{21800}{2 \cdot 4 \cdot 184} = 14,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_M = \frac{M}{W} = \frac{52,8 \cdot 10^6}{621679,5} = 84,9 \text{ MPa}$$

$$W = \frac{I_y}{z} = \frac{162880038,6}{262} = 621679,5 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 703821088,3115 - 540941049,6875 = 162880038,6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{84,9}{\sqrt{2}} = 60,1 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{64,5^2 + 3 \cdot 64,5^2 + 3 \cdot 14,8^2} = 131,5 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{MW}} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 64,5 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{MW}} = 288 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Svar výztuh:

Navržen 2x koutový svar výšky $a=4$ mm a délky $L = 100 - 2a = 92$ mm

$$\tau_{\parallel N} = \frac{N_{Ed}}{6 \cdot 2 \cdot a \cdot L} = \frac{52700}{6 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 92} = 11,9 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{3 \cdot 11,9^2} = 20,6 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{MW}} = 360 \text{ MPa}$$

5.3.3 Přenos vodorovných sil

$$N_{c+} = \frac{(\% \text{ utažení}) \cdot A_s \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,6 \cdot 561 \cdot 355}{1,0} = 119,5 \text{ kN}$$

$$\mu \cdot (N_{c+} + N_c) = 0,2 \cdot (119,5 + 483,4) = 120,6 \text{ kN} > V_{max} = 21,8 \text{ kN}$$

→ vyhoví na přenos sil třením, není nutné navrhovat smykovou zarážku

5.3.4 Posouzení šroubů

Navrženy kotevní šrouby M30 – S355

Posouzení vzdáleností:

$$d_0 = 33 \text{ mm}$$

$$e_{1,min} = e_{2,min} = 1,2 * d_0 = 39,6 \text{ mm} < 50 \text{ mm}; 56 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2 * d_0 = 72,6 \text{ mm} < 367,2 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4 * d_0 = 79,2 \text{ mm}$$

Posouzení na tah a protlačení:

$N_{(1\text{šroub})} = 134,3 \text{ kN} \leftrightarrow$ síla ve šroubu na tažené straně z posouzení komb. 3

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 490 * 561}{1,25} = 197,9 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 * \pi * f_u * d_m * t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * \pi * 360 * 49,6 * 15}{1,25} = 403,9 \text{ kN}$$

$$\min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd}) = 197,9 \text{ kN} > N_{1\text{š}} = 134,3 \text{ kN} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Vliv páčení:

$$t = 15 \geq t_e = 4,3 * \sqrt[3]{\frac{b * d^2}{a}} = 4,3 * \sqrt[3]{\frac{50 * 30^2}{50}} = 41,5 \rightarrow \text{nevyhovuje, nutno zohlednit páčení}$$

$$\rightarrow \gamma = \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} * 0,005 + 1 = \frac{41,5^3 - 15^3}{30^2} * 0,005 + 1 = 1,38$$

$$\gamma * N_{1\text{š}} = 1,38 * 134,3 = 185,3 \text{ kN} \leq \min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd}) = 197,9 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost ve střihu a otlačení:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A * n}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6 * 490 * 707 * 1}{1,25} = 166,3 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{Mb}} = \frac{2,5 * 0,51 * 360 * 33 * 15}{1,25} = 151,5 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{56}{33} - 1,7; 1,4 \frac{7}{33} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{50}{3 * 33}; \frac{367,2}{3 * 33} - 0,25; \frac{600}{360}; 1\right) = 0,51$$

$$F_1 = \frac{21,8}{3} = 7,3 \text{ kN} < \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd}) = 151,5 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost oslabeného průřezu:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 4125 * 360}{1,25} = 1069,2 \text{ kN}$$

$$A_{net} = 308 * 15 - 1 * 33 * 15 = 4125 \text{ mm}^2$$

$$\frac{V_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{21,8}{1069,2} = 0,02 < 1,0$$

Účinná hloubka šroubu s kotevní hlavou:

Plocha kotevní hlavy

$$A_{kot.hl.} = 0,8 * A_s \frac{0,8 * f_y}{\gamma_{M0} * f_{od}} + \frac{\pi d^2}{4} = 0,8 * 561 * \frac{0,8 * 355}{1 * 13,33} + \frac{\pi * 30^2}{4} = 10268,7 \text{ mm}^2$$

$$f_{od} = \frac{f_{ok}}{\gamma_c} = 13,33 \text{ MPa} - \text{únosnost v otláčení betonu}$$

$$f_{td} = \frac{f_{tk}}{\gamma_c} = 1,47 \text{ MPa} - \text{únosnost betonu v tahu a soudržnosti}$$

$$\Delta h = \left(\frac{4 * A_{kot.hl.}}{\pi d^2} - 1 \right) \frac{f_{od}}{4 * f_{td}} * d = 920 \text{ mm}$$

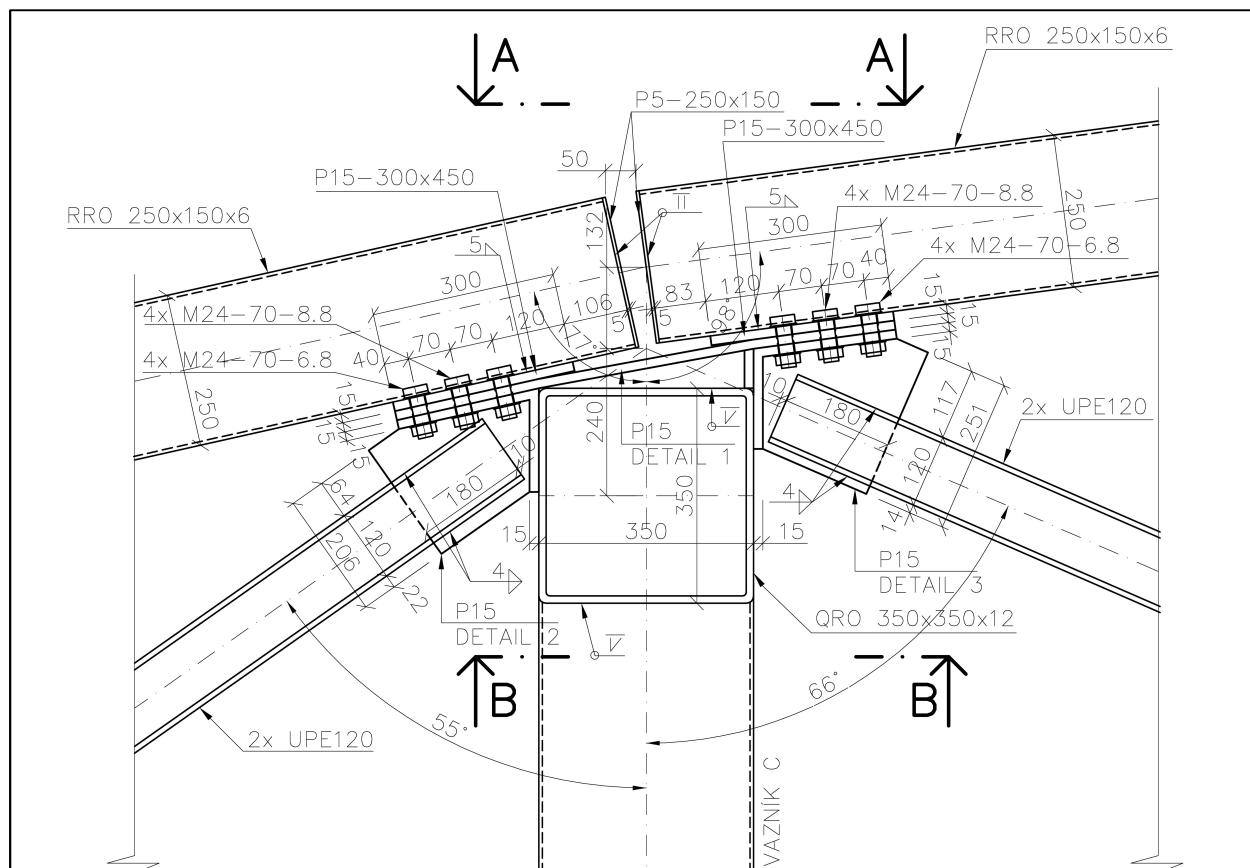
$$h \geq 0,2 * N_{t,max} / \pi d * f_{td} = 419 \text{ mm} < \Delta h$$

Vyhovuje

→ Navrženy kotevní šrouby 3x M30 - 440 – S355

5.4 Detail A – přípoj vaznice

Jednotlivé vaznice (profilu RRO 250x150x6) budou montovány na stavbě. Na horním páse vazníku budou při výrobě navařeny styčnickové plechy viz Detail 1 dle výkresu č.C9 po půdorysné osové vzdálenosti 3 m. Na vaznicích budou taktéž z výroby přichystány styčnickové plechy, které se k vazníkům přišroubují.



Obrázek 19: Detail A - přípoj vaznice a diagonály podélného ztužidla

Vaznice jsou natočeny o 5° kolem lokální osy X.

Návrhové vnitřní síly: KZ49 $N_{Ed} = -538,2 \text{ kN}$ (tlak)

KZ50 $V_{Ed,y} = 17,0 \text{ kN}$

$V_{Ed,z} = 9,3 \text{ kN}$

$M_{Ed,y} = 5,65 \text{ kNm}$ – moment v místě $x = 0,7 \text{ m}$

$M_{Ed,z} = 23,0 \text{ kNm}$ – moment v místě $x = 0$

KZ14 $N_{Ed} = +232,6 \text{ kN}$ (tah)

5.4.1 Styčnickový plech na vazníku

Navržen plech **P15** (geometrie dle výkresu č. C9)

Posouzení průřezu:

$$\sigma = \frac{V_{Ed,z}}{A} = \frac{17000}{450 * 15} = 2,5 \text{ MPa} < f_y = 235 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{538200}{450 * 15} = 79,7 \text{ MPa} < f_y = 235 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení na ohyb:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{6} * \frac{450 * 15^2 * 235}{1,0} = 3,97 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_y}{M_{c,Rd}} = \frac{17 * 0,22}{3,97} = 0,94 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení svaru:

Navržen 2x koutový svar výšky $a=5 \text{ mm}$ a délky $L = 350-2a = 340 \text{ mm}$

$$F_{\parallel} = N_{Ed} * \cos 13^\circ = 524,4 \text{ kN}$$

$$F_{\perp} = V_{Ed,y} = 17 \text{ kN}$$

$$F_{\perp} = V_{Ed,z} * \cos 13^\circ = 9 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 * a * L} = \frac{524400}{2 * 5 * 340} = 154,2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{V_{Ed,y}}{2 * a * L * \sqrt{2}} = \frac{17000}{2 * 5 * 340 * \sqrt{2}} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{V_{Ed,z}}{2 * a * L * \sqrt{2}} = \frac{9000}{2 * 5 * 340 * \sqrt{2}} = 1,9 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{5,4^2 + 3 * 5,4^2 + 3 * 154,2^2} = 267,3 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 5,4 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} = 288 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

5.4.2 Styčnickový plech na vaznici

Navržen plech **P15-450x300**

Posouzení svaru:

Navržen 2x oboustranný koutový svar výšky $a=5 \text{ mm}$ a délky $L = 300-2a = 290 \text{ mm}$.

$$F_{\perp} = V_{Ed,z} = 9,3 \text{ kN}$$

$$F_{\perp} = V_{Ed,y} = 17 \text{ kN}$$

$$F_{\parallel} = N_{Ed} = 538,2 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 * 2 * a * L} = \frac{538200}{2 * 5 * 290} = 185,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{F_{\perp}}{2 * a * L * \sqrt{2}} = \frac{9300}{2 * 5 * 290 * \sqrt{2}} = 2,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{F_{\perp}}{2 * a * L * \sqrt{2}} = \frac{17000}{2 * 5 * 290 * \sqrt{2}} = 4,1 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{6,4^2 + 3 * 6,4^2 + 3 * 185,6^2} = 321,7 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 6,4 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} = 288 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Profil je na čele zajištěn konstrukčním plechem P5-250x150 proti vniknutí vody dovnitř jeklu. Tento plech je přivařen po obvodě π -svarem. Jedná se o nenosné svary, proto nejsou posouzeny.

5.4.3 Posouzení šroubů

Navrženy 4 šrouby M24-70-8.8

Posouzení vzdáleností:

$$d_0 = 26 \text{ mm}$$

$$e_{1,min} = e_{2,min} = 1,2 * d_0 = 31,2 \text{ mm} < 110 \text{ mm}; 40 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2 * d_0 = 57,2 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4 * d_0 = 62,4 \text{ mm} < 75 \text{ mm}$$

Únosnost ve střihu a otlačení:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A * n}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6 * 800 * 452 * 1}{1,25} = 173,6 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{Mb}} = \frac{2,3 * 1 * 360 * 26 * 15}{1,25} = 258,3 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{40}{26} - 1,7; 1,4 \frac{75}{26} - 1,7; 2,5\right) = 2,3$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{110}{3 * 26}; \frac{1}{3 * 26} - 0,25; \frac{800}{360}; 1\right) = 1$$

$$F_1 = \frac{538,2}{4} = 134,6 \text{ kN} < \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd}) = 173,6 \text{ kN} \quad \text{Vyhovuje}$$

Únosnost oslabeného průřezu:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 5190 * 360}{1,25} = 1345,2 \text{ kN}$$

$$A_{net} = 450 * 15 - 4 * 26 * 15 = 5190 \text{ mm}^2$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{538,2}{1345,2} = 0,4 < 1,0$$

5.4.4 Zohlednění ohyb. momentu od excentricity

$$e = 364 \text{ mm}$$

$$M_e = N_{Ed} * e = 538,2 * 0,364 = 195,9 \text{ kNm}$$

Únosnost horního pásu vazníku „C“ v ohybu

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1949000 * 235}{1,0} = 458,015 \text{ kNm} > M_e ,$$

moment M_e je menší než posuzovaný moment M_y v kombinaci vzpěru a ohybu

	kombinace	prut	Lcr [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
max. M	KZ50	č. 2004	3,0	-373,9	20,9	123,7	300,4	-14,2
v místě excentricity				-395,0			200,2	

→ moment M_e neovlivní

5.5 Detail A – přípoj ztužidla

Pruty ztužidel budou montovány na stavbě. Diagonály (profilu 2x UPE120) budou přivařeny ke styčnickovému plechu viz Detail 2,3 ve výkrese č.C9 a ten bude přišroubován ke styčnickovému plechu na horním páse vazníku (Obrázek 19). Dolní pás (profilu 2x L200x100x15) bude přišroubován k předem navařenému plechu na dolním páse vazníku (Obrázek 21).

5.5.1 Diagonály

Návrhové vnitřní síly: KZ50 $N_1 = -370,5 \text{ kN}$

$$N_2 = +425,5 \text{ kN}$$

5.5.1.1 Styčnickový plech P15 (geometrie dle výkresu č. C9)

Posouzení průřezu:

$$\sigma = \frac{N_2}{A} = \frac{425500}{206 * 15} = 137,7 \text{ MPa} < f_y = 235 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Porušení povrchu horního pásu vazníku:

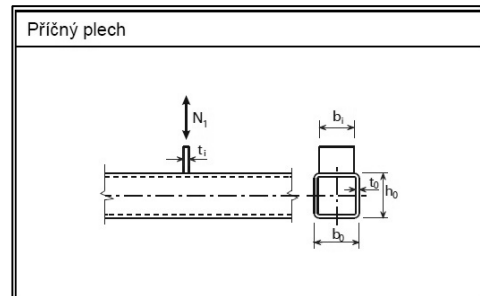
$$N_{1,Rd} = \left(f_{y,1} * t_1 * \frac{b_{eff}}{\gamma_{M5}} \right) = \left(235 * 15 * \frac{150}{1,0} \right) = 528,8 \text{ kN}$$

$$> 425,5 \text{ kN} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$b_{eff} = \frac{10}{\frac{b_0}{t_0}} * \frac{f_{y0} * t_0 * b_1}{f_{y1} * t_1} = \frac{10}{\frac{350}{27}} * \frac{235 * 27 * 150}{235 * 15} = 208,3$$

$$b_{eff} \leq b_1 = 150 \text{ mm}$$

Vyhovuje



Obrázek 20: Porušení povrchu pásu – plech/jekl

Prolomení smykem:

$$b_1 < b_0 - 2 * t_0 \rightarrow 150 < 296$$

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} * t_0}{\sqrt{3}} * \frac{(2 * t_1 + 2 * b_{e,p})}{\gamma_{M5}} = \frac{235 * 27}{\sqrt{3}} * \frac{(2 * 15 + 2 * 115,7)}{\gamma_{M5}} = 957,6 \text{ kN} > 425,5 \text{ kN}$$

$$b_{e,p} = \frac{10}{\frac{b_0}{t_0}} * b_1 = \frac{10}{\frac{350}{27}} * 150 = 115,7 \leq b_1 = 150 \text{ mm}$$

Posouzení svaru:

Navržen koutový svar výšky a=4 mm a délky:

$$L1 = 218 - 2a = 210 \text{ mm}$$

$$L2 = 150 - 2a = 142 \text{ mm}$$

$$F_{W,Rd,1} = \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2} * \sqrt{3}} * a * L1 = \frac{360}{0,8 * 1,25 * \sqrt{3}} * 4 * 210 = 349,2 \text{ kN}$$

$$F_{W,Rd,2} = \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2} * \sqrt{3}} * a * L2 = \frac{360}{0,8 * 1,25 * \sqrt{3}} * 4 * 142 = 236,1 \text{ kN}$$

$$F_{W,Rd} = F_{W,Rd,1} + F_{W,Rd,2} = 585,3 \text{ kN} > F_{Ed} = N_{Ed} = 425,5 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Posouzení svaru prutu 2x UPE120:

Navržen koutový svar výšky a=4 mm a délky:

$$L = 180 - 2a = 172 \text{ mm}$$

$$F_{||} = N_2 = 425,5 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{a * L} = \frac{425500}{4 * 4 * 172} = 154,6 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{3 * 154,6^2} = 267,8 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

5.5.1.2 Posouzení šroubů

Navrženy 4 šrouby M24-70-6.8

Posouzení vzdáleností:

$$d_0 = 26 \text{ mm}$$

$$e_{1,min} = e_{2,min} = 1,2 * d_0 = 31,2 \text{ mm} < 40 \text{ mm}; 77,5 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2 * d_0 = 57,2 \text{ mm} < 140 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4 * d_0 = 62,4 \text{ mm} < 295 \text{ mm}$$

Únosnost ve střihu a otláčení:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A * n}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6 * 600 * 452 * 1}{1,25} = 130,2 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{Mb}} = \frac{2,5 * 0,51 * 360 * 26 * 15}{1,25} = 143,2 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{77,5}{26} - 1,7; 1,4 \frac{295}{26} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{40}{3 * 26}; \frac{140}{3 * 26} - 0,25; \frac{600}{360}; 1\right) = 0,51$$

$$F_1 = \frac{425,5}{4} = 106,4 \text{ kN} < \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd}) = 130,2 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost oslabeného průřezu:

a) Předpoklad připojení pouze diagonály ztužidla

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 5970 * 360}{1,25} = 1547,4 \text{ kN}$$

$$A_{net} = 450 * 15 - 2 * 26 * 15 = 5970 \text{ mm}^2$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{425,5}{1547,4} = 0,27 < 1,0$$

Vyhovuje

b) Předpoklad připojení diagonály ztužidla i vaznice

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 4410 * 360}{1,25} = 1143,1 \text{ kN}$$

$$A_{net} = 450 * 15 - 6 * 26 * 15 = 4410 \text{ mm}^2$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{538,2 + 370,5 * \cos 22^\circ}{1143,1} = \frac{881,7}{1143,1} = 0,77 < 1,0$$

Vyhovuje

Únosnost v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 600 * 353}{1,25} = 152,5 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi * f_u * d_m * t_p}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6\pi * 360 * 38,8 * 15}{1,25} = 315,9 \text{ kN}$$

$$F_1 = \frac{370,5 * \sin 22^\circ}{4} = \frac{138,8}{4} = 34,7 \text{ kN} < \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 152,5 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Vliv páčení:

$$t \geq t_e = 4,3 * \sqrt[3]{\frac{b * d^2}{a}} \rightarrow 15 \geq 4,3 * \sqrt[3]{\frac{140 * 24^2}{77,5}} = 43,6 \rightarrow \text{nelze zanedbat}$$

$$\gamma = \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} * 0,005 + 1 = \frac{43,6^3 - 15^3}{24^2} * 0,005 + 1 = 1,69$$

$$F_1 * \gamma = \frac{138,8}{4} * 1,69 = 58,6 \text{ kN} < \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 152,5 \text{ kN}$$

Vyhovuje

5.5.1.3 Zohlednění ohyb. momentu od excentricity

$$e = 196 \text{ mm}$$

$$M_e = N_{Ed} * e = 425,5 * 0,196 = 83,4 \text{ kNm}$$

Únosnost horního pásu vazníku „C“ v ohybu

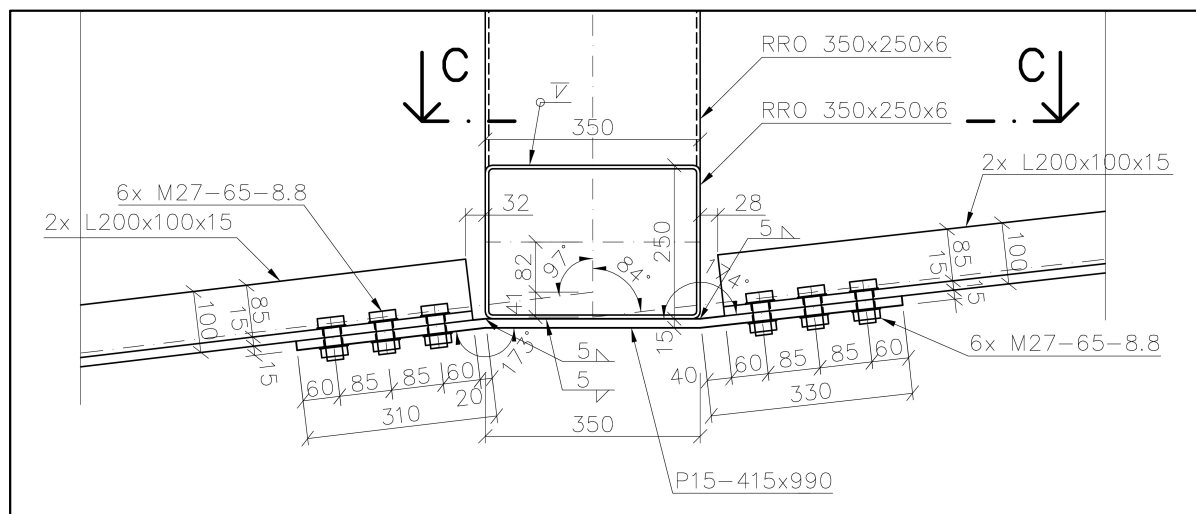
$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1949000 * 235}{1,0} = 458,015 \text{ kNm} > M_e,$$

moment M_e je menší než posuzovaný moment M_y v kombinaci vzpěru a ohybu

	kombinace	prut	Lcr [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
max. M	KZ50	č. 2004	3,0	-373,9	20,9	123,7	300,4	-14,2
v místě excentricity				-395,0			83,4	

→ moment M_e neovlivní

5.5.2 Dolní pás



Obrázek 21: Detail A - přípoj dolního pásu ztužidla

Návrhové vnitřní síly: KZ49 $N_1 = +1107,7 \text{ kN}$

5.5.2.1 Styčnickový plech

Navržen plech **P15-415x990**

Posouzení průřezu:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{1107700}{415 * 15} = 178 \text{ MPa} < f_y = 235 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Posouzení svaru (metodou průměrných napětí):

Navržen obvodový svar výšky $a=5$ mm a délky:

$$L_{II} = 350 - 2a = 342 \text{ mm}$$

$$L_{\perp} = 415 - 2a = 405 \text{ mm}$$

$$F_{W,Rd,\perp} = \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2} * \sqrt{3}} * a_{\perp} * L_{\perp} = \frac{360}{0,8 * 1,25 * \sqrt{3}} * 5 * 2 * 405 = 841,8 \text{ kN}$$

$$F_{W,Rd,\parallel} = \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2} * \sqrt{3}} * a_{\parallel} * L_{\parallel} = \frac{360}{0,8 * 1,25 * \sqrt{3}} * 5 * 2 * 342 = 710,8 \text{ kN}$$

$$F_{W,Rd} = F_{W,Rd,\parallel} + F_{W,Rd,\perp} = 1552,6 \text{ kN}$$

$$F_{W,Rd} > F_{Ed} = N_{Ed} * \cos 7^\circ = 1107,7 * \cos 7 = 1099,4 \text{ kN}$$

Vyhovuje

5.5.2.2 Posouzení šroubů

Navrženo 6 šroubů M27-65-8.8

Posouzení vzdáleností:

$$d_0 = 30 \text{ mm}$$

$$e_{1,min} = e_{2,min} = 1,2 * d_0 = 36 \text{ mm} < 60 \text{ mm}; 75 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2 * d_0 = 66 \text{ mm} < 85 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4 * d_0 = 72 \text{ mm} < 185 \text{ mm}$$

Únosnost ve střihu a otlačení:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A * n}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6 * 800 * 573 * 1}{1,25} = 220 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{Mb}} = \frac{2,5 * 0,67 * 360 * 30 * 15}{1,25} = 217,1 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{75}{30} - 1,7; 1,4 \frac{185}{30} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) \min\left(\frac{60}{3 * 30}; \frac{85}{3 * 30} - 0,25; \frac{800}{360}; 1\right) = 0,67$$

$$F_1 = \frac{1107,7}{6} = 184,6 \text{ kN} < \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd}) = 217,1 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost oslabeného průřezu:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 5325 * 360}{1,25} = 1380,2 \text{ kN}$$

$$A_{net} = 415 * 15 - 2 * 30 * 15 = 5325 \text{ mm}^2$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{1107,7}{1380,2} = 0,8 < 1,0$$

Vyhovuje

5.5.2.3 Zohlednění ohyb. momentu od excentricity

$$e = 122 \text{ mm}$$

$$M_e = N_{Ed} * e = 1107,7 * 0,061 = 67,6 \text{ kNm}$$

Únosnost dolního pásu vazníku „C“ v ohybu,

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{712000 * 235}{1,0} = 167,3 \text{ kNm} > M_e,$$

kombinace vzpěru a ohybu byla ověřena v Excelu s navýšením M_y na M_e

	kombinace	prut	Lcr [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
max. M	KZ50	č. 534	Lcr,y = 3,0 Lcr,z = 5,35	-5,4	-26,4	-1,5	-6,0	-72,5
max. tah	KZ14	č. 526	3,0	+945,8	10,9	6,5	22,6	-23,6
v místě excentricity				-5,37 +645,2			67,6	

a dále ověření kombinace tahu a ohybu

$$M_{N,y,Rd} = \frac{M_{pl,y,Rd}(1-n)}{1-0,5a_w} = \frac{597000 * 235 * (1-0,39)}{1-0,5 * 0,4} = 107 \leq M_{pl,y,Rd} = 140,3 \text{ kNm} \text{ Vyhovuje}$$

$$a_w = \frac{A - 2bt}{A} = \frac{6960 - 2 * 350 * 6}{6960} = 0,4 \leq 0,5 \quad \text{Vyhovuje}$$

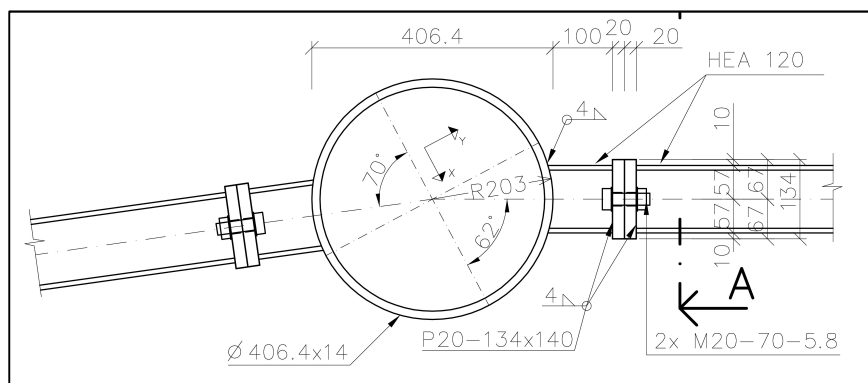
$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0,39$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,y,Rd}} = \frac{67,6}{107} = 0,63 \quad \text{Vyhovuje}$$

→ **moment M_e neovlivní**

5.6 Detail B – přípoj paždíku

Paždíky (profilu HEA120) budou vyrobeny v daných délkách s přivařenou čelní deskou z P20 - 140x134 mm na obou koncích. Na sloupech budou nachystány - přivařeny kusy délky cca 100mm z profilů HEA120 s čelní deskou P20 - 140x134 mm na konci. Na stavbě se poté paždík přišroubuje.



Obrázek 22: Detail B - přípoj paždíku

Návrhové vnitřní síly: KZ49 $N_{Ed} = +112 \text{ kN}$

$$V_{Ed,y} = 2,5 \text{ kN}$$

$$\text{KZ60} \quad N_{Ed} = -80,5 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,z} = 2,5 \text{ kNm} - \text{moment v } x = 0,77 \text{ m}$$

$$\text{KZ70} \quad V_{Ed,z} = 6,1 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 6,0 \text{ kNm} - \text{moment v } x = 0 \text{ m}$$

5.6.1 Posouzení svaru na sloupu (shodné se svarem na čelní desce)

Navržen obvodový koutový svar $a = 4 \text{ mm}$ s délkou:

$$L1 = 2 \times (120 - 2a) = 224 \text{ mm}$$

$$L2 = 2 \times (74 - 2a) = 132 \text{ mm}$$

$$L3 = 4 \times (45 - 2a) = 148 \text{ mm}$$

$$\sigma_M = \frac{M}{W} = \frac{6 \cdot 10^6}{106,2 \cdot 10^3} = 56,5 \text{ MPa}$$

$$W = \frac{I_y}{z} = \frac{5,2 \cdot 10^6}{49} = 106,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} 120 \cdot 4^3 + 120 \cdot 4 \cdot 59^2 \right) + 4 \cdot \left(\frac{1}{12} 45 \cdot 4^3 + 45 \cdot 4 \cdot 47^2 \right) + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} 4 \cdot 74^3 \right) \\ = 5,2 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{56,5}{\sqrt{2}} = 40 \text{ MPa}$$

$$F_{\perp} = N_{Ed} = 112 \text{ kN}$$

$$F_{\parallel} = V_{Ed,y} = 2,5 \text{ kN}$$

$$F_{\parallel} = V_{Ed,z} = 6,1 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{a \cdot L} = \frac{2500}{4 \cdot 132} = 4,73 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{a \cdot L} = \frac{6100}{4 \cdot (148 + 224)} = 4,1 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{a \cdot L \cdot \sqrt{2}} = \frac{112000}{4 \cdot (224 + 132 + 148) \cdot \sqrt{2}} = 39,3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{79,3^2 + 3 \cdot 79,3^2 + 3 \cdot 8,8^2} = 159,3 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

$$\sigma_{\perp} = 79,3 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} = 288 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Posouzení porušení povrchu pásu:

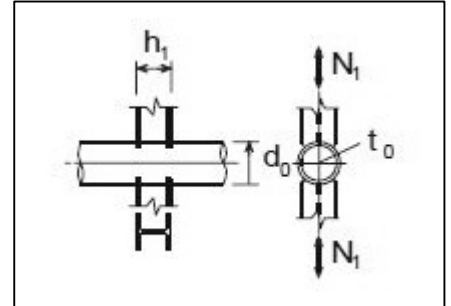
$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{5 * k_p * f_{y0} * t_0^2}{1 - 0,81\beta} (1 + 0,25\mu)}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{5 * 1 * 235 * 8^2}{1 - 0,81 * 0,4} (1 + 0,25 * 0,37)}{\gamma_{M5}} = 121,5 \text{ kN}$$

$$> N_1 = 112 \text{ kN}$$

$$\beta = \frac{b_1}{d_0} = \frac{114}{324} = 0,35 \neq 0,4$$

$$\mu = \frac{h_1}{d_0} = \frac{120}{324} = 0,37 \leq 4$$

Aby vyhovělo posouzení porušení povrchu pásu musí být navýšena tloušťka stěny sloupu – původní $\phi 324 \times 7$, nově $\phi 324 \times 8 \text{ mm}$.



Obrázek 23: Porušení povrchu pásu
– HEA/trubka

$$M_{1,Rd} = \frac{h_1 * N_{1,Rd}}{(1 + 0,25\mu)} = \frac{120 * 121,5}{1 + 0,25 * 0,37} = 13345,5 \text{ kNm} > M_{Ed} = 6 \text{ kNm}$$

Porušení prolomení smykem:

$$\sigma_{max} t_1 = \left(\frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{W_{el}} \right) t_1 = \left(\frac{112000}{2530} + \frac{6 * 10^6}{38500} \right) t_1 = 200,1 \text{ MPa} < \frac{2 t_0 \left(\frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M5}} = \frac{2 * 8 \left(\frac{235}{\sqrt{3}} \right)}{1,0}$$

Vyhovuje

Posouzení čelní desky P20 – 140x134:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{112000}{134 * 20} = 41,8 \text{ MPa} < f_y = 235 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

1.MS:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{cr}}{W} \rightarrow M_{cr} = \sigma_{max} * W = 235 * \frac{1}{6} * 134 * 20^2 = 2,1 \text{ kNm}$$

$$M = \frac{1}{4} * F * l = \frac{1}{4} * 112 * 0,065 = 1,82 \text{ kNm} < M_{cr}$$

Vyhovuje

2.MS:

$$u_{lim} = \frac{l}{150} = \frac{65}{150} = 0,43 \text{ mm} > u = \frac{F * l^3}{48EI} = \frac{112 * 65^3}{48 * 210 * 89333,3} = 0,03 \text{ mm}$$

Vyhovuje

5.6.2 Posouzení šroubů

Navrženy 2 šrouby M20-70-5.8

Posouzení vzdáleností:

$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

$$e_{1,min} = e_{2,min} = 1,2 * d_0 = 26,4 \text{ mm} < 37,5 \text{ mm}; 67 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2 * d_0 = 48,4 \text{ mm} < 65 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4 * d_0 = 52,8 \text{ mm}$$

Únosnost v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 500 * 245}{1,25} = 88,2 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi * f_u * d_m * t_p}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6\pi * 360 * 32,3 * 20}{1,25} = 350,7 \text{ kN}$$

$$F_1 = \frac{112}{2} = 56 \text{ kN} < \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 88,2 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Vliv páčení:

$$t \geq t_e = 4,3 * \sqrt[3]{\frac{b * d^2}{a}} \rightarrow 20 \geq 4,3 * \sqrt[3]{\frac{30 * 20^2}{37,5}} = 29,4 \rightarrow \text{nelze zanedbat}$$

$$\gamma = \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} * 0,005 + 1 = \frac{29,4^3 - 20^3}{20^2} * 0,005 + 1 = 1,22$$

$$F_1 * \gamma = \frac{112}{2} * 1,22 = 68,2 \text{ kN} < \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 88,2 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost ve střihu a otláčení:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A * n}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6 * 500 * 314 * 1}{1,25} = 75,4 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{Mb}} = \frac{2,5 * 0,7 * 360 * 22 * 20}{1,25} = 221,8 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{67}{18} - 1,7; 1,4 \frac{48,4}{18} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{37,5}{3 * 18}; \frac{65}{3 * 18} - 0,25; \frac{500}{360}; 1\right) = 0,7$$

$$F_1 = \frac{V_{Ed,z}}{2} = \frac{6,1}{2} = 3,1 \text{ kN} < \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd}) = 75,4 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost oslabeného průřezu:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 1920 * 360}{1,25} = 497,7 \text{ kN}$$

$$A_{net} = 140 * 20 - 2 * 22 * 20 = 1920 \text{ mm}^2$$

$$\frac{V_{Ed,y}}{N_{u,Rd}} = \frac{2,5}{497,7} = 0,01 < 1,0$$

Vyhovuje

Kombinace tahu a smyku:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} = \frac{3,1}{75,4} + \frac{68,2}{1,4 * 88,2} = 0,59 < 1,0$$

Vyhovuje

5.6.3 Zohlednění ohyb. momentu od excentricity

$$e = 162 \text{ mm}$$

$$M_e = V_{Ed,z} * e = 6,1 * 0,162 = 0,99 \text{ kNm}$$

Únosnost sloupu v ohybu

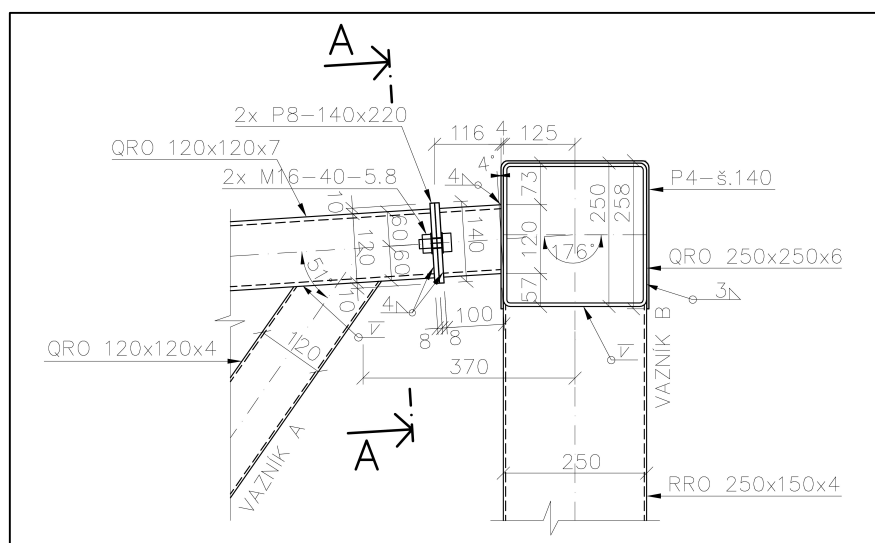
$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{703537 * 235}{1,0} = 165,3 \text{ kNm}$$

a moment použitý pro kombinace vzpěru a ohybu je 52,8 kNm → **moment M_e neovlivní**

5.7 Detail C – přípoj vazníku „A“ k vazníku „B“

Pásky vazníku „A“ jsou z profilů QRO120x7 a QRO120x4. Vazníky budou vyrobeny v daných délkách a velikostech s přivařenou čelní deskou P8 – 220x140 mm na konci horního i dolního pásu na straně připojované k vazníku „B“. Na vaznících „B“ budou nachystány – přivařeny kusy délky cca 100mm z profilů QRO120x5 a QRO120x4 s čelní deskou P8 – 220x140 mm v místech přípoje vazníků „A“. Na stavbě se poté vazníky přišroubují.

5.7.1 Horní pás



Obrázek 24: Detail C - horní pás

Návrhové vnitřní síly:	KZ62	$N_{Ed} = +6,1 \text{ kN}$
	KZ50	$N_{Ed} = -98,7 \text{ kN}$
	KZ14	$V_{Ed,y} = 3,1 \text{ kN}$
		$V_{Ed,z} = 3,4 \text{ kN}$
	KZ17	$M_{Ed,y} = 2,6 \text{ kNm} - \text{moment v } x = 0,75 \text{ m}$

5.7.1.1 Posouzení svaru na horním pásu vazníku „B“

Navržen obvodový koutový svar a = 4 mm s délkou:

$$L = 4 \times (120 - 2a) = 4 \times 112 = 448 \text{ mm}$$

$$F_{\perp} = N_{Ed} * \cos 4^{\circ} = 98,7 * \cos 4^{\circ} = 98,5 \text{ kN}$$

$$F_{\parallel} = V_{Ed,y} * \cos 4^{\circ} = 3,1 * \cos 4^{\circ} = 3,1 \text{ kN}$$

$$F_{\parallel} = V_{Ed,z} * \cos 4^{\circ} = 3,4 * \cos 4^{\circ} = 3,4 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 * a * L} = \frac{3100}{2 * 4 * 112} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 * a * L} = \frac{3400}{2 * 4 * 112} = 3,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{a * L * \sqrt{2}} = \frac{98500}{4 * 448 * \sqrt{2}} = 39 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{39^2 + 3 * 39^2 + 3 * 7,3^2} = 79 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

$$\sigma_{\perp} = 39 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} = 288 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

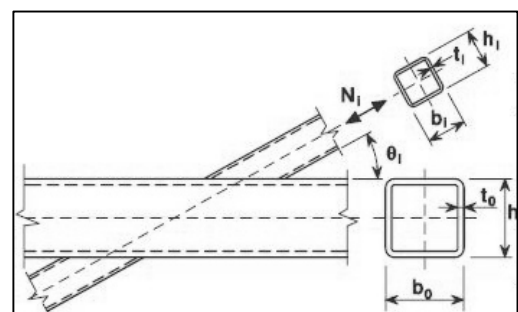
Posouzení porušení povrchu pásu:

$$N_{1,Rd} = \frac{k_n * f_{y0} * t_0^2}{(1 - \beta) * \sin \theta} \left(\frac{2\beta}{\sin \theta} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) = \frac{1 * 235 * 10^2}{(1 - 0,48) * \sin 90} \left(\frac{2 * 0,48}{\sin 90} + 4\sqrt{1 - 0,48} \right) = 139 \text{ kN}$$

$$> N_1 = 98,7 \text{ kN}$$

$$\beta = \frac{b_1}{b_0} = \frac{120}{250} = 0,48 \leq 0,85$$

Nutno zvětšit tloušťku stěny horního pásu přivařením plechu tl. 4 mm v místě spoje, aby nedošlo k porušení povrchu pásu vazníku „B“.



Obrázek 25: Porušení povrchu pásu – jekl/jekl

5.7.1.2 Posouzení svaru čelní desky

Navržen plech **P8-220x140**

$$\sigma_M = \frac{M}{W} = \frac{2,6 * 10^6}{73 * 10^3} = 35,6 \text{ MPa}$$

$$W = \frac{I_y}{z} = \frac{4,4 * 10^6}{60} = 73 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I = 2 * \left(\frac{1}{12} 112 * 4^3 + 112 * 4 * 62^2 \right) + 2 * \left(\frac{1}{12} 4 * 112^3 \right) = 4,4 * 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 * a * L} = \frac{3100}{2 * 4 * 112} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 * a * L} = \frac{3400}{2 * 4 * 112} = 3,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{a * L * \sqrt{2}} = \frac{98700}{4 * 448 * \sqrt{2}} = 39 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{35,6}{\sqrt{2}} = 25,2 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{64,2^2 + 3 * 64,2^2 + 3 * 7,3^2} = 129 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

$$\sigma_{\perp} = 64,2 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} = 288 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Posouzení čelní desky P8 – 220x140:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{98700}{140 * 8} = 88,1 \text{ MPa} < f_y = 235 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

1.MS:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{cr}}{W} \rightarrow M_{cr} = \sigma_{max} * W = 235 * \frac{1}{6} * 140 * 8^2 = 0,351 \text{ kNm}$$

$$M = \frac{1}{4} * F * l = \frac{1}{4} * 6,1 * 0,17 = 0,26 \text{ kNm} \leq M_{cr}$$

Vyhovuje

2.MS:

$$u_{lim} = \frac{l}{150} = \frac{170}{150} = 1,13 \text{ mm} > u = \frac{F * l^3}{48EI} = \frac{6,1 * 170^3}{48 * 210 * 5973,3} = 0,5 \text{ mm}$$

Vyhovuje

5.7.1.3 Posouzení šroubů

Navrženy 2 šrouby **M16-40-5.8**

Posouzení vzdáleností:

$$d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$e_{1,min} = e_{2,min} = 1,2 * d_0 = 21,6 \text{ mm} < 70 \text{ mm}; 25 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2 * d_0 = 28,6 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4 * d_0 = 31,2 \text{ mm} < 170 \text{ mm}$$

Únosnost v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 500 * 157}{1,25} = 56,5 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi * f_u * d_m * t_p}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6\pi * 360 * 25,9 * 8}{1,25} = 112,5 \text{ kN}$$

$$F_1 = \frac{6,1}{2} = 3,1 \text{ kN} < \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 56,5 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Vliv páčení:

$$t \geq t_e = 4,3 * \sqrt[3]{\frac{b * d^2}{a}} \rightarrow 8 \geq 4,3 * \sqrt[3]{\frac{25 * 16^2}{25}} = 27,3 \rightarrow \text{nelze zanedbat}$$

$$\gamma = \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} * 0,005 + 1 = \frac{27,3^3 - 8^3}{16^2} * 0,005 + 1 = 1,39$$

$$F_1 * \gamma = \frac{6,1}{2} * 1,39 = 4,2 \text{ kN} < \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 56,5 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost ve střihu a otláčení:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A * n}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6 * 500 * 201 * 1}{1,25} = 48,24 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{Mb}} = \frac{2,2 * 1 * 360 * 18 * 8}{1,25} = 91,2 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{25}{18} - 1,7; 1,4 \frac{170}{18} - 1,7; 2,5\right) = 2,2$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{70}{3 * 18}; \frac{1}{3 * 18} - 0,25; \frac{500}{360}; 1\right) = 1$$

$$F_1 = \frac{3,4}{2} = 1,7 \text{ kN} < \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd}) = 48,24 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost oslabeného průřezu:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 1472 * 360}{1,25} = 381,5 \text{ kN}$$

$$A_{net} = 220 * 8 - 2 * 18 * 8 = 1472 \text{ mm}^2$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{3,4}{381,5} = 0,01 < 1,0$$

Vyhovuje

Kombinace tahu a smyku:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} = \frac{1,7}{48,24} + \frac{4,2}{1,4 * 56,5} = 0,1 < 1,0$$

Vyhovuje

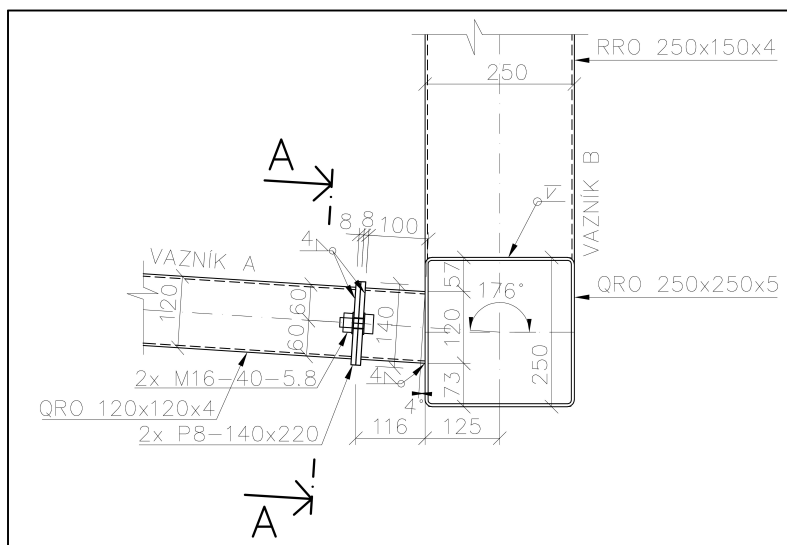
5.7.1.4 Zohlednění ohyb. momentu od excentricity

$$e = 125 \text{ mm}$$

$$M_e = V_{Ed,z} * e = 3,4 * 0,125 = 0,425 \text{ kNm}$$

Únosnost horního pásu vazníku „B“ v ohybu

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{454000 * 235}{1,0} = 106,7 \text{ kNm}$$

a moment použitý v kombinace vzpěru a ohybu je 20,65 kNm → **moment Me neovlivní****5.7.2 Dolní pás**

Obrázek 26: Detail C - dolní pás

Návrhové vnitřní síly: KZ49 $N_{Ed} = +1,6 \text{ kN}$

$$V_{Ed,z} = 0,4 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 0,16 \text{ kNm} - \text{moment v } x = 0,75 \text{ m}$$

KZ14 $N_{Ed} = -5,9 \text{ kN}$

5.7.2.1 Posouzení svaru na horním pásu vazníku „B“

Navržen obvodový koutový svar $a = 4 \text{ mm}$ s délkou:

$$L = 4 \times (120 - 2a) = 4 \times 112 = 448 \text{ mm}$$

$$F_{\perp} = N_{Ed} * \cos 4^{\circ} = 5,9 * \cos 4^{\circ} = 5,9 \text{ kN}$$

$$F_{\parallel} = V_{Ed,z} * \cos 4^{\circ} = 0,4 * \cos 4^{\circ} = 0,4 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 * a * L} = \frac{400}{2 * 4 * 112} = 0,45 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{a * L * \sqrt{2}} = \frac{5900}{4 * 448 * \sqrt{2}} = 2,3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{2,3^2 + 3 * 2,3^2 + 3 * 0,45^2} = 4,7 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 2,3 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} = 288 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení porušení povrchu pásu: (Obrázek 25)

$$N_{1,Rd} = \frac{k_n * f_{y0} * t_0^2 \left(\frac{2\beta}{(1-\beta) * \sin\theta} + 4\sqrt{1-\beta} \right)}{\gamma_{M5}} = \frac{1 * 235 * 5^2 \left(\frac{2 * 0,48}{(1-0,48) * \sin 90} + 4\sqrt{1-0,48} \right)}{\gamma_{M5}} = 34,7 \text{ kN}$$

$$> N_1 = 5,9 \text{ kN} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\beta = \frac{b_1}{b_0} = \frac{120}{250} = 0,48 \leq 0,85$$

5.7.2.2 Posouzení svaru čelní desky

Navržen plech **P8-220x140** a obvodový koutový svar $a = 4 \text{ mm}$.

$$\sigma_m = \frac{M}{W} = \frac{0,16 * 10^6}{73 * 10^3} = 2,2 \text{ MPa}$$

$$W = \frac{I_y}{z} = \frac{4,4 * 10^6}{60} = 73 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I = 2 * \left(\frac{1}{12} 112 * 4^3 + 112 * 4 * 62^2 \right) + 2 * \left(\frac{1}{12} 4 * 112^3 \right) = 4,4 * 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 * a * L} = \frac{400}{2 * 4 * 112} = 0,45 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{a * L * \sqrt{2}} = \frac{5900}{4 * 448 * \sqrt{2}} = 2,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{2,2}{\sqrt{2}} = 1,56 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{3,9^2 + 3 * 3,9^2 + 3 * 0,45^2} = 7,8 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 3,9 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} = 288 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení čelní desky P8 – 220x140:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{5900}{140 * 8} = 5,3 \text{ MPa} < f_y = 235 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

1.MS:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{cr}}{W} \rightarrow M_{cr} = \sigma_{max} * W = 235 * \frac{1}{6} * 140 * 8^2 = 0,351 \text{ kNm}$$

$$M = \frac{1}{4} * F * l = \frac{1}{4} * 1,6 * 0,17 = 0,068 \text{ kNm} \leq M_{cr} \quad \text{Vyhovuje}$$

2.MS:

$$u_{lim} = \frac{l}{150} = \frac{170}{150} = 1,13 \text{ mm} > u = \frac{F * l^3}{48EI} = \frac{1,6 * 170^3}{48 * 210 * 5973,3} = 0,13 \text{ mm} \quad \text{Vyhovuje}$$

5.7.2.3 Posouzení šroubů

Navrženy 2 šrouby M16-40-5.8

Posouzení vzdáleností:

$$d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$e_{1,min} = e_{2,min} = 1,2 * d_0 = 21,6 \text{ mm} < 70\text{mm}; 25\text{mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2 * d_0 = 28,6 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4 * d_0 = 31,2 \text{ mm} < 170 \text{ mm}$$

Únosnost v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 500 * 157}{1,25} = 56,5 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi * f_u * d_m * t_p}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6\pi * 360 * 25,9 * 8}{1,25} = 112,5 \text{ kN}$$

$$F_1 = \frac{1,6}{2} = 0,8 \text{ kN} < \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 56,5 \text{ kN} \quad \text{Vyhovuje}$$

Vliv páčení:

$$t \geq t_e = 4,3 * \sqrt[3]{\frac{b * d^2}{a}} \rightarrow 8 \geq 4,3 * \sqrt[3]{\frac{25 * 16^2}{25}} = 27,3 \rightarrow \text{nelze zanedbat}$$

$$\gamma = \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} * 0,005 + 1 = \frac{27,3^3 - 8^3}{16^2} * 0,005 + 1 = 1,39$$

$$F_1 * \gamma = \frac{1,6}{2} * 1,39 = 1,1 \text{ kN} < \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 56,5 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost ve střihu a otlačení:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A * n}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6 * 500 * 201 * 1}{1,25} = 48,24 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{Mb}} = \frac{2,2 * 1 * 360 * 18 * 8}{1,25} = 91,2 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{25}{18} - 1,7; 1,4 \frac{170}{18} - 1,7; 2,5\right) = 2,2$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{70}{3 * 18}; \frac{500}{360}; 1\right) = 1$$

$$F_1 = \frac{0,4}{2} = 0,2 \text{ kN} < \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd}) = 48,24 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost oslabeného průřezu:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 1472 * 360}{1,25} = 381,5 \text{ kN}$$

$$A_{net} = 220 * 8 - 2 * 18 * 8 = 1472 \text{ mm}^2$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{0,4}{381,5} = 0,001 < 1,0$$

Vyhovuje

Kombinace tahu a smyku:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} = \frac{0,2}{48,24} + \frac{0,4}{1,4 * 56,5} = 0,01 < 1,0$$

Vyhovuje

5.7.2.4 Zohlednění ohyb. momentu od excentricity

$$e = 125 \text{ mm}$$

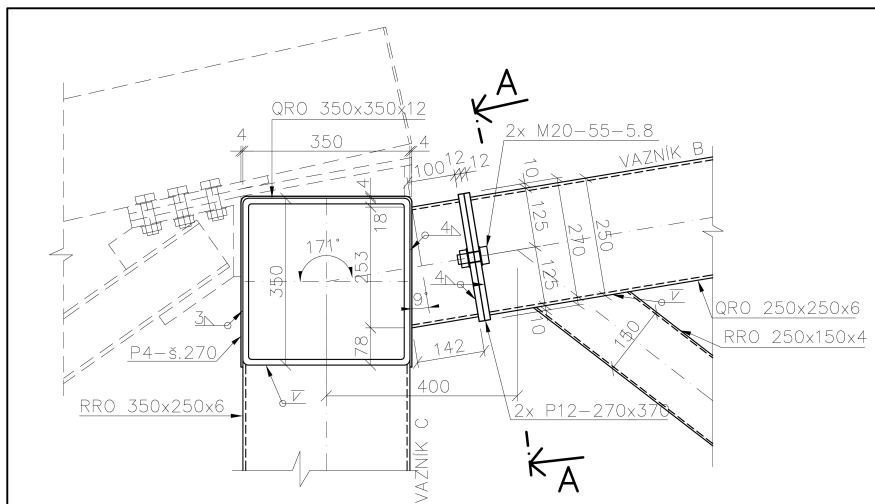
$$M_e = V_{Ed,z} * e = 0,4 * 0,125 = 0,05 \text{ kNm}$$

→ moment M_e je velmi malý - neovlivní

5.8 Detail D – přípoj vazníku „B“ k vazníku „C“

Pásky vazníku „B“ jsou z profilů QRO250x6 a QRO250x5. Vazníky budou vyrobeny s přivařenou čelní deskou P12 – 370x270 na obou koncích horního pásu a s deskou P12 – 390x390 na obou koncích dolního pásu. Na vaznících „C“ budou nachystány – přivařeny kusy délky cca 100mm z profilů QRO250x6 a QRO250x5 s čelní deskou v místech přípojení vazníků „B“. Na stavbě se poté vazníky přišroubují.

5.8.1 Horní pás



Obrázek 27: Detail D - horní pás

Návrhové vnitřní síly: KZ14 $N_{Ed} = -623,3 \text{ kN}$

$$V_{Ed,y} = 2,3 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,z} = 1,8 \text{ kNm} - \text{moment } v \text{ x } = 0,79 \text{ m}$$

KZ18 $V_{Ed,z} = 23,5 \text{ kN}$

$$M_{Ed,v} = 17,8 \text{ kNm} - \text{moment } v \text{ x } = 0,79 \text{ m}$$

5.8.1.1 Posouzení svaru na horním pásu vazníku „C“

Navržen obvodový koutový svar $a = 4 \text{ mm}$ s délkou:

$$L = 4 \times (250 - 2a) = 4 \times 242 = 968 \text{ mm}$$

$$F_{\perp} = N_{Fd} * \cos 9^{\circ} = 670,7 * \cos 9^{\circ} = 662,4 \text{ kN}$$

$$F_{\parallel} = V_{Ed,y} * \cos 9^{\circ} = 2,3 * \cos 9^{\circ} = 2,3 \text{ kN}$$

$$F_{\parallel} = V_{Ed,z} * \cos 9^{\circ} = 23,5 * \cos 9^{\circ} = 23,2 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 * a * L} = \frac{2300}{2 * 4 * 242} = 1,2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 * a * L} = \frac{23200}{2 * 4 * 242} = 12 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{a * L * \sqrt{2}} = \frac{623300}{4 * 968 * \sqrt{2}} = 113,8 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{113,8^2 + 3 * 113,8^2 + 3 * 12^2} = 228,7 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 113,8 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} = 288 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení porušení povrchu pásu: (Obrázek 25)

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{k_n * f_{y0} * t_0^2}{(1 - \beta) * \sin\theta} \left(\frac{2\beta}{\sin\theta} + 4\sqrt{1 - \beta} \right)}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{1 * 235 * 16^2}{(1 - 0,71) * \sin 90} \left(\frac{2 * 0,71}{\sin 90} + 4\sqrt{1 - 0,71} \right)}{\gamma_{M5}} = 741,4 \text{ kN}$$

$$> N_1 = 623,3 \text{ kN}$$

$$\beta = \frac{b_1}{b_0} = \frac{250}{350} = 0,71 \leq 0,85$$

Nutno zvětšit tloušťku stěny horního pásu přivařením plechu tl. 4 mm v místě spoje, aby nedošlo k porušení povrchu pásu vazníku „C“.

5.8.1.2 Posouzení svaru čelní desky

Navržen plech **P12-370x270**

$$\sigma_m = \frac{M}{W} = \frac{17,8 * 10^6}{325,4 * 10^3} = 54,7 \text{ MPa}$$

$$W = \frac{I_y}{z} = \frac{40,68 * 10^6}{125} = 325,4 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I = 2 * \left(\frac{1}{12} 242 * 4^3 + 242 * 4 * 127^2 \right) + 2 * \left(\frac{1}{12} 4 * 242^3 \right) = 40,68 * 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 * a * L} = \frac{2300}{2 * 4 * 242} = 1,19 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 * a * L} = \frac{23500}{2 * 4 * 242} = 12,14 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{a * L * \sqrt{2}} = \frac{623300}{4 * 968 * \sqrt{2}} = 113,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_m}{\sqrt{2}} = \frac{54,7}{\sqrt{2}} = 38,7 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{152,5^2 + 3 * 152,5^2 + 3 * 13,33^2} = 305,9 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_1 = 152,5 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} = 288 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Posouzení průřezu desky P12 – 370x270:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{623300}{270 * 12} = 192,4 \text{ MPa} < f_y = 235 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

5.8.1.3 Posouzení šroubů

Navrženy 2 šrouby M20-55-5.8

Posouzení vzdáleností:

$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

$$e_{1,min} = e_{2,min} = 1,2 * d_0 = 26,4 \text{ mm} < 135 \text{ mm}; 30 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2 * d_0 = 48,4 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4 * d_0 = 52,8 \text{ mm} < 310 \text{ mm}$$

Únosnost ve střihu a otláčení:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A * n}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6 * 500 * 314 * 1}{1,25} = 75,4 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{Mb}} = \frac{2,12 * 1 * 360 * 22 * 12}{1,25} = 161,2 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{30}{22} - 1,7; 1,4 \frac{310}{22} - 1,7; 2,5\right) = 2,12$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{135}{3 * 22}; \frac{1}{3 * 22} - 0,25; \frac{500}{360}; 1\right) = 1$$

$$F_1 = \frac{23,5}{2} = 11,75 \text{ kN} < \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd}) = 75,4 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost oslabeného průřezu:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 2712 * 360}{1,25} = 702,95 \text{ kN}$$

$$A_{net} = 270 * 12 - 2 * 22 * 12 = 2712 \text{ mm}^2$$

$$\frac{V_{Ed,z}}{N_{u,Rd}} = \frac{23,5}{702,95} = 0,03 < 1,0$$

Vyhovuje

5.8.1.4 Zohlednění ohyb. momentu od excentricity

$$e = 175 \text{ mm}$$

$$M_e = V_{Ed,z} * e = 23,5 * 0,175 = 4,1 \text{ kNm}$$

Únosnost horního pásu vazníku „C“ v ohybu

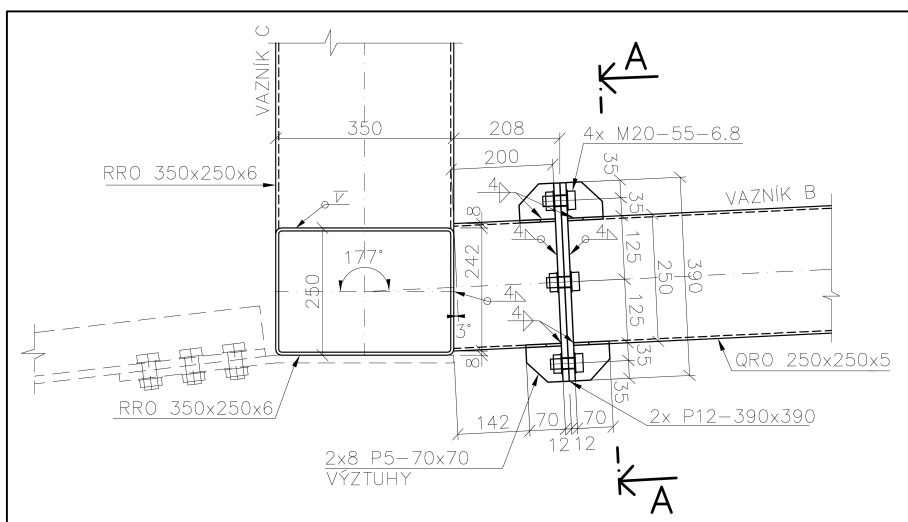
$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1949000 * 235}{1,0} = 458,015 \text{ kNm} > M_e ,$$

moment M_e je menší než posuzovaný moment M_y v kombinaci vzpěru a ohybu

	kombinace	prut	Lcr [m]	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
max. tlak	KZ14	č. 516	3,0	-1127,0	18,3	15,2	27,5	-74,0
v místě excentricity				-1122,7				4,1

→ moment M_e neovlivní

5.8.2 Dolní pás



Obrázek 28: Detail D - dolní pás

Návrhové vnitřní síly: KZ13 $N_{Ed} = +240,4 \text{ kN}$

KZ15 $V_{Ed,y} = 0,7 \text{ kN}$

KZ14 $V_{Ed,z} = 1,93 \text{ kN}$

$M_{Ed,y} = 1,35 \text{ kNm}$ – moment v $x = 0,78 \text{ m}$

$M_{Ed,z} = 0,37 \text{ kNm}$ – moment v $x = 0,78 \text{ m}$

5.8.2.1 Posouzení svaru na dolním pásu vazníku „C“

Navržen obvodový koutový svar $a = 4 \text{ mm}$ s délkou:

$$L = 4 \times (250 - 2a) = 4 \times 242 = 968 \text{ mm}$$

$$F_{\perp} = N_{Ed} \cdot \cos 3^{\circ} = 240,4 \cdot \cos 3^{\circ} = 240 \text{ kN}$$

$$F_{\parallel} = V_{Ed,y} \cdot \cos 3^{\circ} = 0,7 \cdot \cos 3^{\circ} = 0,7 \text{ kN}$$

$$F_{\parallel} = V_{Ed,z} \cdot \cos 3^{\circ} = 1,93 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 \cdot a \cdot L} = \frac{700}{2 \cdot 4 \cdot 242} = 0,36 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 \cdot a \cdot L} = \frac{1930}{2 \cdot 4 \cdot 242} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{a \cdot L \cdot \sqrt{2}} = \frac{240000}{4 \cdot 968 \cdot \sqrt{2}} = 43,8 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{43,8^2 + 3 \cdot 43,8^2 + 3 \cdot 1,36^2} = 87,6 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 43,8 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} = 288 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení vybočení boční stěny pásu: (Obrázek 25)

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{f_b \cdot t_0}{\sin \theta_1} \left(\frac{2h_1}{\sin \theta_1} + 10t_0 \right)}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{235 \cdot 6}{\sin 90} \left(\frac{2 \cdot 250}{\sin 90} + 10 \cdot 6 \right)}{\gamma_{M5}} = 631,7 > N_1 = 240,4 \text{ kN}$$

$$\beta = \frac{b_1}{b_0} = \frac{250}{250} = 1 \not\leq 0,85 \rightarrow \text{není nutno posuzovat porušení povrchu pásu}$$

Posouzení porušení mezipásového prutu ($\beta \geq 0,85$):

$$N_{1,Rd} = \frac{f_y \cdot t_1 (2h_1 - 4t_1 + 2b_{eff})}{\gamma_{M5}} = \frac{235 \cdot 5 (2 \cdot 250 - 4 \cdot 5 + 2 \cdot 72)}{\gamma_{M5}} = 586,6 > N_1 = 240,4 \text{ kN}$$

$$b_{eff} = \frac{10}{b_0} \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0}{f_{y1} \cdot t_1} \cdot b_1 = \frac{10}{\frac{250}{6}} \cdot \frac{235 \cdot 6}{235 \cdot 5} \cdot 250 = 72 \leq b_1 = 250$$

5.8.2.2 Posouzení svaru čelní desky

Navržen plech **P12-390x390**

$$\sigma_M = \frac{M}{W} = \frac{1,35 \cdot 10^6}{325,4 \cdot 10^3} = 4,15 \text{ MPa}$$

$$W = \frac{I_y}{z} = \frac{40,68 \cdot 10^6}{125} = 325,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} 242 \cdot 4^3 + 242 \cdot 4 \cdot 127^2 \right) + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} 4 \cdot 242^3 \right) = 40,68 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 * a * L} = \frac{700}{2 * 4 * 242} = 0,36 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 * a * L} = \frac{1930}{2 * 4 * 242} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{a * L * \sqrt{2}} = \frac{240400}{4 * 968 * \sqrt{2}} = 43,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{4,15}{\sqrt{2}} = 3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{46,8^2 + 3 * 46,8^2 + 3 * 1,36^2} = 93,6 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 46,8 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} = 288 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Navrženy navíc výztuhy 8x P5 – 70x70, které budou přivařeny koutovým svarem výšky a=4 mm k čelní desce i k nosníku.

Posouzení průřezu desky P12 – 390x390

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{240400}{390 * 12} = 51,37 \text{ MPa} < f_y = 235 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

5.8.2.3 Posouzení šroubů

Navrženy 4 šrouby M20-55-6.8

Posouzení vzdáleností:

$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

$$e_{1,min} = e_{2,min} = 1,2 * d_0 = 26,4 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2 * d_0 = 48,4 \text{ mm} < 310 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4 * d_0 = 52,8 \text{ mm} < 310 \text{ mm}$$

Únosnost v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 600 * 245}{1,25} = 105,8 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi * f_u * d_m * t_p}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6\pi * 500 * 32,3 * 22}{1,25} = 535,8 \text{ kN}$$

$$F_1 = \frac{240,4}{4} = 60,1 \text{ kN} < \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 105,8 \text{ kN} \quad \text{Vyhovuje}$$

Vliv páčení:

$$t \geq t_e = 4,3 * \sqrt[3]{\frac{b * d^2}{a}} \rightarrow 22 \nlessdot 4,3 * \sqrt[3]{\frac{30 * 20^2}{40}} = 28,8 \rightarrow \text{nelze zanedbat}$$

$$\gamma = \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} * 0,005 + 1 = \frac{28,8^3 - 22^3}{20^2} * 0,005 + 1 = 1,17$$

$$F_1 * \gamma = \frac{240,4}{4} * 1,17 = 70,3 \text{ kN} < \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 105,8 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost ve střihu a otlačení:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A * n}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6 * 600 * 314 * 1}{1,25} = 90,4 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{Mb}} = \frac{2,5 * 0,606 * 500 * 22 * 22}{1,25} = 293,3 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{40}{22} - 1,7; 1,4 \frac{310}{22} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{40}{3 * 22}; \frac{310}{3 * 22} - 0,25; \frac{600}{500}; 1\right) = 0,606$$

$$F_1 = \frac{1,93}{4} = 0,5 \text{ kN} < \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd}) = 90,4 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost oslabeného průřezu:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 7612 * 500}{1,25} = 2740,3 \text{ kN}$$

$$A_{net} = 390 * 22 - 2 * 22 * 22 = 7612 \text{ mm}^2$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{1,93}{2740,3} = 0,0001 < 1,0$$

Vyhovuje

Kombinace tahu a smyku:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} = \frac{0,5}{90,4} + \frac{66,1}{1,4 * 105,8} = 0,45 < 1,0$$

Vyhovuje

5.8.2.4 Zohlednění ohyb. momentu od excentricity

$$e = 175 \text{ mm}$$

$$M_e = V_{Ed,z} * e = 1,93 * 0,175 = 0,34 \text{ kNm}$$

Únosnost dolního pásu vazníku „C“ v ohybu,

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{712000 * 235}{1,0} = 167,3 \text{ kNm} > M_e,$$

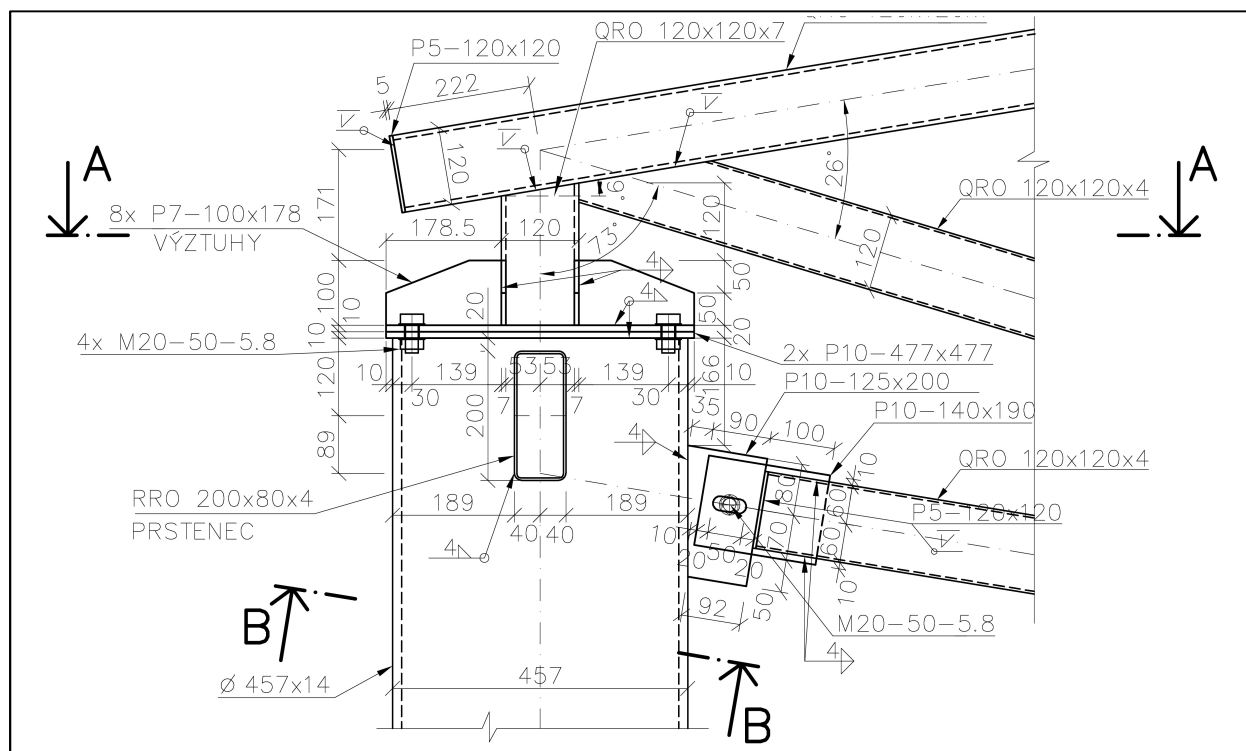
moment M_e je mnohem menší než posuzované momenty z tabulky

	kombinace	prut	L_{cr} [m]	N [kN]	V_y [kN]	V_z [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
max. M	KZ50	č. 534	$L_{cr,y} = 3,0$ $L_{cr,z} = 5,35$	-5,4	-26,4	-1,5	-6,0	-72,5
max. tah	KZ14	č. 526	3,0	+945,8	10,9	6,5	22,6	-23,6
v místě excentricity				-5,37 +645,2				0,34

→ moment M_e neovlivní

5.9 Detail E – přípoj vazníku „A“ ke sloupu

Pásky vazníku „A“ jsou z profilů QRO120x7 a QRO120x4, sloup je z profilu RO 457x14. Horní část vazníku bude napojena čelní deskou P10 – 477x477 na čelní desku sloupu P10 – 477x477 umístěnou na jeho vrcholu. Dolní pás je uvažován jako nulový prut, proto je napojen pouze přes styčnickový plech s oválnou dírou – možnost posunu ve směru X. Spoj bude sešroubován.



Obrázek 29: Detail E

Návrhové vnitřní síly: KZ50 $N_{Ed} = -125,6 \text{ kN}$

$V_{Ed,y} = 47,3 \text{ kN}$

$$M_{Ed,y} = 5,4 \text{ kNm}$$

$$\text{KZ61} \quad N_{Ed} = +12,5 \text{ kN}$$

$$\text{KZ62} \quad V_{Ed,z} = 25 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,z} = 11,3 \text{ kNm}$$

5.9.1 Posouzení průřezu

$$\sigma_{pás} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{125600}{2240} = 56,1 \text{ MPa} < f_y = 235 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

$$\sigma_{deska} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{125600}{447 * 10} = 28,1 \text{ MPa} < f_y = 235 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

5.9.2 Posouzení svaru

Čelní deska:

Navržen plech **P10-477x477**

Navržen obvodový koutový svar $a = 4 \text{ mm}$.

$$\sigma_m = \frac{M}{W} = \frac{11,3 * 10^6}{349,6 * 10^3} = 32,32 \text{ MPa}$$

$$W = \frac{I_y}{z} = \frac{83,384 * 10^6}{238,5} = 349,6 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} I = & 8 * \left(\frac{1}{12} 4 * 178^3 + 178 * 4 * 89^2 \right) + 2 * \left(\frac{1}{12} 110 * 4^3 + 110 * 4 * 62^2 \right) + 4 \\ & * \left(\frac{1}{12} 178 * 4^3 + 178 * 4 * 62^2 \right) + 4 * \left(\frac{1}{12} 178 * 4^3 + 178 * 4 * 53^2 \right) + 2 \\ & * \left(\frac{1}{12} 4 * 110^3 \right) = 83,384 * 10^6 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{a * L} = \frac{25000}{4 * 1424} = 4,4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{a * L} = \frac{47300}{4 * 1424} = 8,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{a * L * \sqrt{2}} = \frac{125600}{4 * 3288 * \sqrt{2}} = 6,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_m}{\sqrt{2}} = \frac{32,32}{\sqrt{2}} = 22,9 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{29,7^2 + 3 * 29,7^2 + 3 * 12,7^2} = 63,3 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

$$\sigma_{\perp} = 29,7 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} = 288 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Výztuhy:

Navržen plech 8x P7-178x100

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{a * L} = \frac{125600}{12 * 4 * 100} = 26,2 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{3 * 26,2^2} = 45,4 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

5.9.3 Posouzení šroubů

Navrženy 4 šrouby M20-50-5.8

Posouzení vzdáleností:

$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

$$e_{1,min} = e_{2,min} = 1,2 * d_0 = 26,4 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2 * d_0 = 48,4 \text{ mm} < 400 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4 * d_0 = 52,8 \text{ mm} < 400 \text{ mm}$$

Únosnost ve střihu a otláčení:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A * n}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6 * 500 * 314 * 1}{1,25} = 75,4 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{Mb}} = \frac{2,5 * 0,58 * 360 * 22 * 10}{1,25} = 91,9 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{40}{22} - 1,7; 1,4 \frac{400}{22} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{38,5}{3 * 22}; \frac{400}{3 * 22} - 0,25; \frac{500}{360}; 1\right) = 0,58$$

$$F_1 = \frac{47,3}{4} = 11,8 \text{ kN} < \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd}) = 75,4 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost oslabeného průřezu:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 4330 * 360}{1,25} = 1122,3 \text{ kN}$$

$$A_{net} = 477 * 10 - 2 * 22 * 10 = 4330 \text{ mm}^2$$

$$\frac{V_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{47,3}{1122,3} = 0,04 < 1,0$$

Vyhovuje

Únosnost v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 500 * 245}{1,25} = 88,2 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi * f_u * d_m * t_p}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6\pi * 360 * 32,3 * 10}{1,25} = 175,3 \text{ kN}$$

$$F_1 = \frac{12,5}{4} = 3,1 \text{ kN} < \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 88,2 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Vliv páčení:

$$t \geq t_e = 4,3 * \sqrt[3]{\frac{b * d^2}{a}} \rightarrow 10 \geq 4,3 * \sqrt[3]{\frac{54 * 20^2}{54}} = 31,7 \rightarrow \text{nelze zanedbat}$$

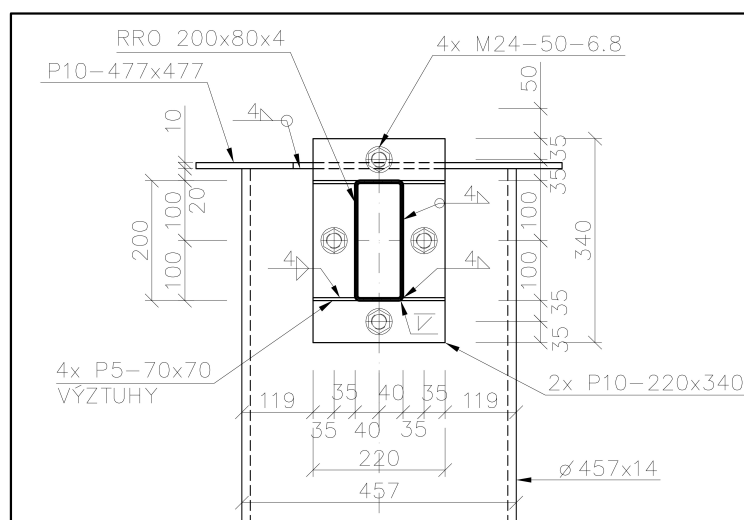
$$\gamma = \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} * 0,005 + 1 = \frac{31,7^3 - 10^3}{20^2} * 0,005 + 1 = 1,38$$

$$F_1 * \gamma = \frac{16}{4} * 1,38 = 4,3 \text{ kN} < \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 88,2 \text{ kN}$$

Vyhovuje

5.10 Detail E – přípoj prstence ke sloupu

Prstenec je z profilu RRO200x80x4 a sloup z RO457x10. Prstenec bude vyroben s přivařenou čelní deskou P10 – 220x340 mm na obou koncích. Na sloupech budou nachystány – přivařeny kusy délky cca 100mm z profilů RRO200x80x4 s čelní deskou P10– 220x340 mm v místech přípoje k prstenci (e = 120 mm od spodní hrany čelní desky sloupu). Na stavbě se poté prstenec přišroubuje.



Obrázek 30: Detail E - přípoj prstence

Návrhové vnitřní síly: KZ49 $N_{Ed} = +317 \text{ kN}$

$$V_{Ed,y} = 4,4 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} = 7,5 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 5,5 \text{ kNm} - \text{moment v místě } x = 0,75 \text{ m}$$

$$M_{Ed,z} = 4 \text{ kNm} - \text{moment v místě } x = 1 \text{ m}$$

KZ50 $N_{Ed} = -62,6 \text{ kN}$

5.10.1 Posouzení svaru na sloupu

Navržen obvodový koutový svar $a = 4 \text{ mm}$ s délkou:

$$L1 = 2 \times (80 - 2a) = 144 \text{ mm}$$

$$L2 = 2 \times (200 - 2a) = 384 \text{ mm}$$

$$F_{\perp} = N_{Ed} = 317 \text{ kN}$$

$$F_{\parallel} = V_{Ed,y} = 4,4 \text{ kN}$$

$$F_{\parallel} = V_{Ed,z} = 7,5 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{a * L} = \frac{4400}{4 * 144} = 7,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{a * L} = \frac{7500}{4 * 384} = 4,9 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{a * L * \sqrt{2}} = \frac{317000}{4 * (144 + 384) * \sqrt{2}} = 106,1 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{106,1^2 + 3 * 106,1^2 + 3 * 12,5^2} = 213,3 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 106,1 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} = 288 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení porušení povrchu pásu:

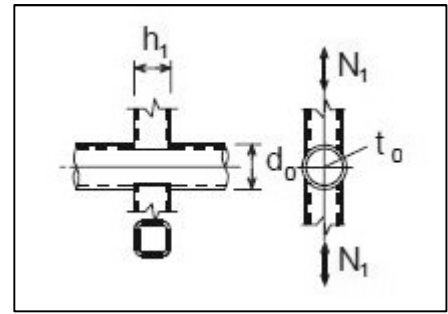
$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{5 * k_p * f_{y0} * t_0^2}{1 - 0,81\beta} (1 + 0,25\mu)}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{5 * 1 * 235 * 14^2}{1 - 0,81 * 0,4} (1 + 0,25 * 0,44)}{1,0} = 378,2 \text{ kN}$$

$$> N_1 = 317 \text{ kN}$$

$$\beta = \frac{b_1}{d_0} = \frac{80}{457} = 0,175 \neq 0,4$$

$$\mu = \frac{h_1}{d_0} = \frac{200}{457} = 0,44 \leq 4$$

Aby vyhovělo posouzení porušení povrchu pásu musí být navýšena tloušťka stěny sloupu o 4mm, původně $\phi 457 \times 10 \rightarrow$ nově $\phi 457 \times 14$.



Obrázek 31: Porušení povrchu pásu
- trubka/jekl

5.10.2 Posouzení čelní desky P10 – 220x340

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{317000}{220 * 10} = 144,1 \text{ MPa} < f_y = 235 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Posouzení svaru

Navržen obvodový koutový svar $a = 4 \text{ mm}$ s délkou:

$$L1 = 2 \times (80 - 2a) = 144 \text{ mm}$$

$$L2 = 2 \times (200 - 2a) = 384 \text{ mm}$$

$$F_{\perp} = N_{Ed} = 317 \text{ kN}$$

$$F_{\parallel} = V_{Ed,y} = 4,4 \text{ kN}$$

$$F_{\parallel} = V_{Ed,z} = 7,5 \text{ kN}$$

$$\sigma_m = \frac{M}{W} = \frac{5,5 * 10^6}{115,4 * 10^3} = 47,7 \text{ MPa}$$

$$W = \frac{I_y}{z} = \frac{12 * 10^6}{104} = 115,4 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I = 2 * \left(\frac{1}{12} 80 * 4^3 + 80 * 4 * 102^2 \right) + 2 * \left(\frac{1}{12} 4 * 200^3 \right) = 12 * 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_m}{\sqrt{2}} = \frac{47,7}{\sqrt{2}} = 33,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{a * L} = \frac{4400}{4 * 144} = 7,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{a * L} = \frac{7500}{4 * 384} = 4,9 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{a * L * \sqrt{2}} = \frac{317000}{4 * (144 + 384) * \sqrt{2}} = 106,1 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{139,8^2 + 3 * 139,8^2 + 3 * 12,5^2} = 280,4 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

$$\sigma_{\perp} = 139,8 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} = 288 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Navrženy navíc výztuhy 4x P5 – 70x70 přivařeny koutovým svarem výšky a=4 mm k čelní desce i nosníku.

5.10.3 Posouzení šroubů

Navrženy 4 šrouby M24-55-6.8

Posouzení vzdáleností:

$$d_0 = 26 \text{ mm}$$

$$e_{1,min} = e_{2,min} = 1,2 * d_0 = 31,2 \text{ mm} < 35 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2 * d_0 = 57,2 \text{ mm} < 270 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4 * d_0 = 62,4 \text{ mm} < 150 \text{ mm}$$

Únosnost v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 600 * 353}{1,25} = 152,5 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi * f_u * d_m * t_p}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6\pi * 360 * 38,8 * 12}{1,25} = 252,8 \text{ kN}$$

$$F_1 = \frac{317}{4} = 79,3 \text{ kN} < \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 152,5 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Vliv páčení:

$$t \geq t_e = 4,3 * \sqrt[3]{\frac{b * d^2}{a}} \rightarrow 12 \nlessgtr 4,3 * \sqrt[3]{\frac{35 * 24^2}{35}} = 35,8 \rightarrow \text{nelze zanedbat}$$

$$\gamma = \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} * 0,005 + 1 = \frac{35,8^3 - 12^3}{24^2} * 0,005 + 1 = 1,383$$

$$F_1 * \gamma = \frac{317}{4} * 1,383 = 109,6 \text{ kN} < \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 152,5 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost ve střihu a otlačení:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A * n}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6 * 600 * 452 * 1}{1,25} = 130,2 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{Mb}} = \frac{2,07 * 0,45 * 360 * 26 * 12}{1,25} = 83,7 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{35}{26} - 1,7; 1,4 \frac{150}{26} - 1,7; 2,5\right) = 2,07$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{35}{3 * 26}; \frac{270}{3 * 26} - 0,25; \frac{600}{360}; 1\right) = 0,45$$

$$F_1 = \frac{V_{Ed,z}}{4} = \frac{7,5}{4} = 1,9 \text{ kN} < \min(F_{V,Rd}, F_{b,Rd}) = 83,7 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost oslabeného průřezu:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 1704 * 360}{1,25} = 441,7 \text{ kN}$$

$$A_{net} = 220 * 12 - 3 * 26 * 12 = 1704 \text{ mm}^2$$

$$\frac{V_{Ed,z}}{N_{u,Rd}} = \frac{7,5}{441,7} = 0,017 < 1,0$$

Vyhovuje

Kombinace tahu a smyku:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} = \frac{1,9}{83,7} + \frac{109,6}{1,4 * 152,5} = 0,54 < 1,0$$

Vyhovuje

Posouzení na moment:

$$N_1 = M * \frac{r_1}{\sum r_i^2} = 5,5 * \frac{0,27}{0,27^2 + 0,135^2} = 16,3 \text{ kN}$$

$$F_{1,M} = \frac{N_1}{n_{sr,řada1}} = \frac{16,3}{1} = 16,3 \text{ kN} < \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 152,5 \text{ kN}$$

Vyhovuje

5.10.4 Zohlednění ohyb. momentu od excentricity

$$e = 228,5 \text{ mm}$$

$$M_{e1} = V_{Ed,z} * e = 7,5 * 0,2285 = 1,7 \text{ kNm}$$

$$M_{e2} = N_{Ed} * e = 317 * 0,210 = 66,6 \text{ kNm}$$

Únosnost sloupu v ohybu,

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1998000 * 235}{1,0} = 469,5 \text{ kNm} > M_{e2},$$

kombinace vzpěru a ohybu byla ověřena v Excelu

	kombinace	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
max. komb. N+M	KZ14	-128,4	0	-9,8	-65,5	0
v místě excentricity		-126,3			66,6	

→ moment Me neovlivní

5.11 Detail F – montážní spoj vazníku

Pro montážní spoj bude řešen vazník „D“ délky 40,7m, který bude rozdělen na 3 části po 13,5m (třetí část délky 13,7m). Spoj pásů a diagonály je řešen přes čelní desky a šrouby.

5.11.1 Horní pás – QRO 220x220x8

Návrhové vnitřní síly: KZ14 $N_{Ed} = -830,6 \text{ kN}$

$$M_{Ed,z} = 1,8 \text{ kNm}$$

KZ47 $V_{Ed,y} = 2,8 \text{ kN}$

KZ49 $V_{Ed,z} = 6,4 \text{ kN}$

$$M_{Ed,y} = 9,8 \text{ kNm}$$

5.11.1.1 Posouzení čelní desky

Navržen plech P12-360x360

Posouzení průřezu:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{830600}{360 * 12} = 192,3 \text{ MPa} < f_y = 235 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Posouzení svaru:

Navržen koutový svar a=5 mm délky L = 4x (220-2a).

$$\sigma_m = \frac{M}{W} = \frac{9,8 * 10^6}{319,3 * 10^3} = 30,7 \text{ MPa}$$

$$W = \frac{I_y}{z} = \frac{36,7 * 10^6}{115} = 319,3 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I = 2 * \left(\frac{1}{12} 220 * 5^3 + 220 * 5 * 112,5^2 \right) + 2 * \left(\frac{1}{12} 5 * 220^3 \right) = 36,7 * 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 * a * L} = \frac{2800}{2 * 5 * 210} = 1,33 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 * a * L} = \frac{6400}{2 * 5 * 210} = 3,05 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{a * L * \sqrt{2}} = \frac{830600}{5 * 4 * 210 * \sqrt{2}} = 139,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_m}{\sqrt{2}} = \frac{30,7}{\sqrt{2}} = 21,7 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{161,5^2 + 3 * 161,5^2 + 3 * 4,38^2} = 323,1 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

$$\sigma_1 = 161,5 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} = 288 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

5.11.1.2 Posouzení šroubů

Navrženy 4 šrouby M20-55-5.8

Posouzení vzdáleností:

$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

$$e_{1,min} = e_{2,min} = 1,2 * d_0 = 26,4 \text{ mm} < 35\text{mm}; 35\text{mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2 * d_0 = 48,4 \text{ mm} < 290\text{mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4 * d_0 = 52,8 \text{ mm} < 290\text{mm}$$

Únosnost ve střihu a otláčení:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A * n}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6 * 500 * 314 * 1}{1,25} = 75,4 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{Mb}} = \frac{2,5 * 0,53 * 360 * 22 * 12}{1,25} = 100,7 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{35}{22} - 1,7; 1,4 \frac{290}{22} - 1,7; 2,5\right) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{35}{3 * 22}; \frac{290}{3 * 22} - 0,25; \frac{500}{360}; 1\right) = 0,53$$

$$F_1 = \frac{6,4}{4} = 1,6 \text{ kN} < \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd}) = 75,4 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost oslabeného průřezu:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 3792 * 360}{1,25} = 982,9 \text{ kN}$$

$$A_{net} = 360 * 12 - 2 * 22 * 12 = 3792 \text{ mm}^2$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{6,4}{982,9} = 0,01 < 1,0$$

Vyhovuje

5.11.2 Dolní pás – QRO 220x220x5

Návrhové vnitřní síly: KZ49 $N_{Ed} = +677,2 \text{ kN}$

$$V_{Ed,z} = 7,7 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,z} = 3,3 \text{ kNm}$$

$$\text{KZ50} \quad M_{Ed,y} = 1,4 \text{ kNm}$$

5.11.2.1 Posouzení čelní desky

Navržen plech **P12-400x400**

Posouzení průřezu:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{677200}{400 * 12} = 141,1 \text{ MPa} < f_y = 235 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

Posouzení svaru:

Navržen koutový svar $a=4$ mm délky $L = 4 \times (220-2a)$.

$$\sigma_m = \frac{M}{W} = \frac{3,3 * 10^6}{256 * 10^3} = 12,9 \text{ MPa}$$

$$W = \frac{I_y}{z} = \frac{29,18 * 10^6}{114} = 256 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I = 2 * \left(\frac{1}{12} 220 * 4^3 + 220 * 4 * 112^2 \right) + 2 * \left(\frac{1}{12} 4 * 220^3 \right) = 29,18 * 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{2 * a * L} = \frac{7700}{2 * 4 * 212} = 4,54 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{a * L * \sqrt{2}} = \frac{677200}{4 * 4 * 212 * \sqrt{2}} = 141,2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_m}{\sqrt{2}} = \frac{12,9}{\sqrt{2}} = 9,1 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{150,3^2 + 3 * 150,3^2 + 3 * 4,54^2} = 300,7 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 150,3 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} = 288 \text{ MPa} \quad \text{Vyhovuje}$$

Navrženy navíc výztuhy $8 \times P5 - 90 \times 90$ přivařené koutovým svarem výšky $a=4$ mm k čelní desce i k nosníku.

5.11.2.2 Posouzení šroubů

Navrženy 8 šrouby **M24-55-6.8**

Posouzení vzdáleností:

$$d_0 = 26 \text{ mm}$$

$$e_{1,min} = e_{2,min} = 1,2 * d_0 = 31,2 \text{ mm} < 45 \text{ mm}; 45 \text{ mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2 * d_0 = 57,2 \text{ mm} < 155 \text{ mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4 * d_0 = 62,4 \text{ mm} < 155 \text{ mm}$$

Únosnost ve střihu a otlačení:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A * n}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6 * 600 * 452 * 1}{1,25} = 130,2 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{Mb}} = \frac{2,06 * 0,57 * 360 * 26 * 12}{1,25} = 105,5 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{45}{26} - 1,7; 1,4 \frac{155}{26} - 1,7; 2,5\right) = 2,06$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min\left(\frac{45}{3 * 26}; \frac{155}{3 * 26} - 0,25; \frac{600}{360}; 1\right) = 0,57$$

$$F_1 = \frac{7,7}{8} = 0,96 \text{ kN} < \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd}) = 105,5 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Únosnost oslabeného průřezu:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 3864 * 360}{1,25} = 1001,5 \text{ kN}$$

$$A_{net} = 400 * 12 - 3 * 26 * 12 = 3864 \text{ mm}^2$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{7,7}{1001,5} = 0,008 < 1,0$$

Vyhovuje

Únosnost v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 600 * 353}{1,25} = 152,5 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi * f_u * d_m * t_p}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6\pi * 360 * 38,8 * 12}{1,25} = 252,8 \text{ kN}$$

$$F_1 = \frac{677,2}{8} = 84,65 \text{ kN} < \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 152,5 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Vliv páčení:

$$t \geq t_e = 4,3 * \sqrt[3]{\frac{b * d^2}{a}} \rightarrow 12 \not\geq 4,3 * \sqrt[3]{\frac{45 * 24^2}{45}} = 35,8 \rightarrow \text{nelze zanedbat}$$

$$\gamma = \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} * 0,005 + 1 = \frac{35,8^3 - 12^3}{24^2} * 0,005 + 1 = 1,383$$

$$F_1 * \gamma = \frac{677,2}{8} * 1,383 = 117,1 \text{ kN} < \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 152,5 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Kombinace tahu a smyku:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} = \frac{0,96}{105,5} + \frac{117,1}{1,4 * 152,5} = 0,56 < 1,0$$

Vyhovuje

Posouzení na moment:

$$N_1 = M * \frac{r_1}{\sum r_i^2} = 3,3 * \frac{0,305}{0,305^2 + 0,155^2} = 8,6 \text{ kN}$$

$$F_{1,M} = \frac{N_1}{n_{sr,řada1}} = \frac{8,6}{3} = 2,9 \text{ kN} < \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 152,5 \text{ kN}$$

Vyhovuje

5.11.3 Diagonála – QRO 220x220x5Návrhové vnitřní síly: KZ26 $N_{Ed} = +57,7 \text{ kN}$ KZ84 $N_{Ed} = -34,6 \text{ kN}$ **5.11.3.1 Posouzení čelní desky**

Navržen plech P18-360x240 – S355

Posouzení průřezu:

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{57700}{240 * 18} = 13,4 \text{ MPa} < f_y = 355 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

1.MS:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{cr}}{W} \rightarrow M_{cr} = \sigma_{max} * W = 355 * \frac{1}{6} * 240 * 18^2 = 4,6 \text{ kNm}$$

$$M = \frac{1}{4} * F * l = \frac{1}{4} * 57,7 * 0,290 = 4,18 \text{ kNm} < M_{cr}$$

Vyhovuje

2.MS:

$$u_{lim} = \frac{l}{150} = \frac{290}{150} = 1,93 \text{ mm} > u = \frac{F * l^3}{48EI} = \frac{57,7 * 290^3}{48 * 210 * 116640} = 1,2 \text{ mm}$$

Vyhovuje

Posouzení svaru:

Navržen koutový svar a=4 mm délky L = 4x (220-2a).

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_{Ed}}{a * L * \sqrt{2}} = \frac{57700}{4 * 4 * 212 * \sqrt{2}} = 12 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2} = \sqrt{12^2 + 3 * 12^2} = 24 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

$$\sigma_1 = 24 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\gamma_{Mb}} = 288 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

5.11.3.2 Posouzení šroubů

Navrženy 2 šrouby M20-65-5.8

Posouzení vzdáleností:

$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

$$e_{1,min} = e_{2,min} = 1,2 * d_0 = 26,4 \text{ mm} < 35\text{mm}; 120\text{mm}$$

$$p_{1,min} = 2,2 * d_0 = 48,4 \text{ mm} < 290\text{mm}$$

$$p_{2,min} = 2,4 * d_0 = 52,8 \text{ mm}$$

Únosnost v tahu:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,9 * 500 * 245}{1,25} = 88,2 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi * f_u * d_m * t_p}{\gamma_{Mb}} = \frac{0,6\pi * 490 * 32,3 * 18}{1,25} = 429,6 \text{ kN}$$

$$F_1 = \frac{57,7}{2} = 28,9 \text{ kN} < \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 88,2 \text{ kN}$$

Vyhovuje

Vliv páčení:

$$t \geq t_e = 4,3 * \sqrt[3]{\frac{b * d^2}{a}} \rightarrow 18 \nlessdot 4,3 * \sqrt[3]{\frac{35 * 20^2}{35}} = 31,7 \rightarrow \text{nelze zanedbat}$$

$$\gamma = \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} * 0,005 + 1 = \frac{31,7^3 - 18^3}{20^2} * 0,005 + 1 = 1,325$$

$$F_1 * \gamma = \frac{57,7}{2} * 1,325 = 38,2 \text{ kN} < \min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd}) = 88,2 \text{ kN}$$

Vyhovuje